المنظمة العربية للترجمة

هنري بوانكاريه

العلم والفرضية

ترجمة وتقديم

د. حمادي بن جاء بالله

بدعم من مؤسّسة محمد بن راشد آل مكتوم

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

العلم والفرضية

هنري بوانكاريه

العلم والفرضية

ترجمة وتقديم

د. حمادي بن جاء بالله

المنظمة العربية للترجمة

الفهرسة أثناء النشر - إعداد مركز دراسات الوحدة العربية
بوانكاريه، هنري
العلم والفرضية/ هنري بوانكاريه؛ ترجمة وتقديم حمادي بن جاء بالله.
٣٤٣ ص.
ISBN 9953-431-35-3
١. الرياضيات. ٢. الهندسة. ٣. الفيزياء. ٤. الفرضية.
أ. العنوان. ب. بن جاء بالله، حمادي (مترجم).
501

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات تتبناها المنظمة العربية للترجمة»

Poincaré, La Science et l'hypothèse
© 1968, FLAMMARION, Paris

المنظمة العربية للترجمة

بناية «شاتيلا وقهوجي» شارع ليون ص.ب: ٥٩٩٦ - ١١٣
الحمراء - بيروت ٢٠٩٠ ١١٠٣ - لبنان
هاتف: ٧٥٣٠٣١ (٩٦١١)/ فاكس: ٧٥٣٠٣٢ (٩٦١١)
e-mail: info@aot.org.lb - http://www.aot.org.lb

«يصدر هذا الكتاب بدعم من وزارة الخارجية الفرنسية والسفارة الفرنسية في لبنان - قسم التعاون والعمل الثقافي - وذلك في إطار برنامج جورج شحادة للمساعدة على النشر».

«Cet ouvrage, publié dans le cadre du Programme d'Aide à la Publication Georges Shéhadé, bénéficie du soutien du Ministère des Affaires Etrangère, et du Service de Coopération et d'Action culturelle de l'Ambassade de France au Liban»

حقوق الطبع والنشر بالعربية محفوظة لمركز دراسات الوحدة العربية

الطبعة الأولى: بيروت، كانون الأول/ ديسمبر ٢٠٠٢
بناية «سادات تاور» شارع ليون ص.ب: ٦٠٠١ - ١١٣
الحمراء - بيروت ٢٠٩٠ ١١٠٣ - لبنان
تلفون: ٨٦٩١٦٤ - ٨٠١٥٨٢ - ٨٠١٥٨٧
برقياً: «مرعربي» - بيروت/ فاكس: ٨٦٥٥٤٨ (٩٦١١)
e-mail: info@caus.org.lb - http://www.caus.org.lb

المحتويـــات

تصديـر ٧

تنبيهات ٩

مقدمة المترجم ١١

مقدمة المؤلف ٧١

القسم الأول
العدد والعظم

الفصل الأول : في طبيعة الاستدلال الرياضي ٧٩

الفصل الثاني : العظم الرياضي والتجربة ٩٧

القسم الثاني
المكــان

الفصل الثالث : الهندسات اللاإقليدية ١١٥

الفصل الرابع : المكان والهندسة ١٣١

الفصل الخامس : التجربة والهندسة ١٥١

القسم الثالث
القــوة

الفصل السادس : الميكانيكا الكلاسيكية ١٦٩

الفصل السابع : الحركة النسبية والحركة المطلقة ١٨٩

الفصل الثامن : الطاقة والديناميكا الحرارية ١٩٩

القسم الرابع
الطبيعــة

الفصل التاسع : الفرضيات في الفيزياء ٢١٧

الفصل العاشر : نظريات الفيزياء الحديثة ٢٣٥

الفصل الحادي عشر : حساب الاحتمالات ٢٥٥

الفصل الثاني عشر : البصريات والكهرباء ٢٨١

الفصل الثالث عشر : الكهروديناميكا ٢٩٥

الفصل الرابع عشر : نهاية المادة ٣١٥

الثبت التعريفي ٣٢١

ثبت المصطلحات ٣٢٧

فهرس ٣٣٥

تصدير

هذا الكتاب أول ما تصدره المنظمة العربية للترجمة. لهذا فهي تحمّله أمل الإعلان عمّا تطمح إليه: نقلٌ للمعرفة يبلغ الجهدُ فيه حدّاً من الدقّة والأمانة تحصل معه الثقة في اعتماد ما وُضع من نصّ عربي، بدون الخوف المعهود من شوائب ما ساد من ترجمة في الأسواق.

إن الهدف من إنشاء المنظمة العربية للترجمة هو المساهمة، تحديداً، في تطوير الترجمة العربية، في اتجاه النقل السليم للمعرفة، نقلاً يكون في سلامته إثراءً وتطوير لاستعمال اللغة العربية نفسها. هذا الهدف المركب يشترط، بدون شك، كفاءةً مهنية، ولكنه يندرج في رؤية نهضوية حديثة ترى في حركة الترجمة رافداً ضرورياً من روافد التقدم، وطنياً وقومياً.

إنّ المنظمة العربية للترجمة، مؤسسة علمية، مستقلة، لا تهدف إلى الربح. لذلك فإن ما تختاره للترجمة لا يحدده غير ما ترى فيه نفعاً معرفياً واضحَ الأهمية للقارىء العربي: قارىء يُفترض أن يكون له ما يدعوه إلى اكتشاف نصوص منقولة إلى العربية، نقلاً حسناً، في مجالات معرفية متقدمة. وإنّ ما تختاره المنظمة للترجمة هو حصيلةُ استشارة واسعة لرصد الآراء، على صعيد عربي، وحصيلةُ ما تقترحه اللجان المتخصّصة، بناءً على ذلك، من تصنيف وأولويات. أما الترجمة والمراجعة فأمرهما موكول إلى كفاءات تجتهد المنظمة في الوصول إليها.

يبقى أن آفاق هذا الطموح المعرفي العربي يحددها، في نهاية الأمر، ما يقع منه في أذهان المعنيين به. والأمل كبير في أن تتسع مساندته لدى أهل الفكر والسياسة ممن يرون واسعَ مردوده، في المدى البعيد، سواء كان النقل إلى العربية، كما هو الحال هنا، أم كان منها إلى لغات أخرى، كما سيكون الحال، أيضاً، في مرحلة قادمة.

د. الطاهر لبيب

المدير العام

للمنظمة العربية للترجمة

تنبيهات

- اعتمدنا في نقل هذا الكتاب إلى اللغة العربية النسخة الصادرة عن دار فلاماريون Flammarion بباريس سنة ١٩٦٨.
- تسهيلاً للعودة إلى النص الأصلي، أثبتنا ترقيم صفحاته بالنص العربي ووضعناها بين قوسين مستطيلين [ ].
- ما شدد عليه المؤلف من الألفاظ أو الجمل، جاء في النص العربي بالحرف الأسود البارز.
- استعنا في ترجمة المفاهيم العلمية «بالمعجم الموحد» الصادر عن المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، خاصة عدد ٢: الفيزياء العامة والنووية (تونس ١٩٨٩) وعدد ٣، الرياضيات والفلك (تونس ١٩٩٠).

أتوجه بجزيل الشكر إلى الأستاذ **علي بلحاج** مدير دار المعلمين العليا فعميد كلية العلوم في جامعة تونس الأولى، لتفضله بمراجعة هذه الترجمة. وقد استفدت منه، عالماً عميق الاطلاع بالمسائل التي تعرّض لها المؤلف، وشاعراً يُكنىٰ (علي عارف) مرهف الإحساس بجمال اللغة العربية ودقّتها معاً.

د. حمادي بن جاء بالله

أستاذ الفلسفة بالجامعة التونسية

مقدمة المترجم

لن نطرح على هذا الأثر الفلسفي الخصب الذي نضعه بين يدي القارئ العربي إلاّ سؤالاً أساسياً، بدا لنا أنّه يمكن أن يصاغ على النحو التالي: لِمَ فشل بوانكاريه حيث نجح أنشتاين؟

وعن هذا السؤال المركزي بالنظر إلى وضع بوانكاريه في التاريخ العلمي والفلسفي، يترتب بالنظر إلى أفق القارئ العربي، سؤالٌ لا يقل عنه أهميّة، بدا لنا أنه يمكن أن يصاغ على النحو التالي: لم فشل الفكر العربي في تفجير الثورة العلمية الحديثة وهو الذي هيأ لها الكثير من أسبابها، إن لم نقل جلها؟

وإذا استجزنا جدلاً ـ على ما سنتبينه لاحقاً ـ أن ذلك الفشل يعزى ـ في بعد أساسي من أبعاده على الأقل ـ إلى مواقف فكرية عائقة، ورؤى فلسفية فاسدة، لزم عن ذلك ـ بالنظر إلى اهتمامات المتفلسف عامّة ـ سؤال ثالث للقارئ أن يتدبره، يدور على معنى ما يمكن أن تكون عليه ـ ابستيمولوجياً وتاريخياً، ونظرياً وقيمياً. علاقة الفلسفة بعلوم عصرها.

أولاً: بوانكاريه العالم

١ ـ حذاقة بوانكاريه بعلم عصره

قد لا يكون لذلك السؤال الأول من معنى يعتدّ به، لو لم يتعاصر الرجلان، بوانكاريه وأنشتاين، ولم يعيشا ظروفاً متشابهة

حتى التماثل أحياناً، ولم تتهيأ لهما وسائل علمية ووسائط تقنية متقاربة حتى التماهي في أغلب الأحيان، ولو لم يشهدا تحولات اجتماعية متداخلة، هي في أبعادها الغالبة، التحولات ذاتها التي شهدتها أوروبا عامة، وفرنسا وألمانيا خاصة، في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين .

ولعل ما يشهد لوجاهة ذلك السؤال ويكشف في الوقت ذاته عما ينطوي عليه من مفارقة، أن بوانكاريه كان أوسع ما يكون اطلاعاً على ما شهدته المعارف العلمية في عصره من تحولات عميقة، في موضوعاتها ومناهجها ونتائجها، كما كان أبعد ما يكون إلماماً بما أنتجته تلك التحوّلات من ابتكارات خصبة، غيرت العلم معنًى وقيمة، وبدّلت آليات التمشي الفكري، وارتقت بالعقل البشري إلى طور جديد مختلف في النوع عن ذاك الذي ارتقى إليه مع بناة الثورة العلمية الحديثة بدءاً بكوبرنيك (Copernic) حتى لاغرانج (Lagrange) ولابلاس (Laplace) مروراً بغاليلي (Galilée) وديكارت (Descartes) ونيوتن (Newton) بالخصوص.

فلقد واكب بوانكاريه ما شهده علم الحساب من فتوحات كبرى، يوم تبلور على أيدي كانطور (Cantor) وزارميلو (Zermelo) وراسل (Russell) مفهوم اللامتناهي[١]، وما صحب ذلك من خصومات شهيرة بين «الحدسيين» و «الصورانيين»، دارت بالأساس على حقيقة العلاقة بين المنطق والرياضيات[٢] عامة، وطبيعة الاستدلال الحسابي خاصة[٣].

---

(١) «La Logique de l'infini,» dans: Henri Poincaré, *Dernières pensées* (Paris: Flammarion, 1913), pp. 99-140.

(٢) «L'Intuition et la logique en mathématiques,» dans: Henri Poincaré: *La Valeur de la science* (Paris: Flammarion , 1948), pp. 11-34; *Science et méthode*, bibliothèque de philosophie scientifique (Paris: Flammarion, 1908), chaps. 2-5, et *Dernières pensées*, chap. 5.

(٣) Henri Poincaré, *La Science et l'hyopothèse* (Paris: Garnier, Flammrion, 1968), pp. 31-46.

وعاصر صاحبنا ما شهدته الهندسة من تغيير في طبيعة أولياتها، وأبنية نظمها، ومعاني الخطأ والصواب في استدلالاتها وفي ما لزم عن ذلك كله من تغيير في علاقتها بما نسميه «المكان» عامة، والواقع أو التجربة خاصّة[٤]. فقد بعثرت هندسات لوباتشفسكي (Lobatchvsky) وريمان (Riemann) وبلترامي (Beltrami)[٥] وهيلبرت (Hilbert) حدوسات الهندسة الإقليدية، وكشفت عن محدودية العقلانية الكلاسيكية، وفتحت للفكر الهندسي آفاقا رحبة لا عهد له بها، ازدادت خصبا بفضل ما قام - منذ بدايات العصر الحديث بالخصوص - بين العلوم الرياضية والعلوم الفيزيائية من «تفاعل» تجاوزت بفضله مجرد علاقات «حسن الجوار»[٦]، في اتجاه «تعاون أكثر حميمية»[٧]، كان من نتائجه أن أثرى حساب الاحتمالات[٨]، وازدادت مفاهيمه تبلوراً وإشكالاته وضوحاً، عما كانت عليه في عهد لابلاس[٩] مثلاً، فكان بذلك أقدر على أن يكون ألصق بهموم الفيزيائي، وأكثر استجابة لحاجاته الموضوعية.

فليس من الهيّن أن توضع بين يدي الفيزيائي «لغة خدمت بالصواب»[١٠] تقيه ضلالات اللغة الطبيعية[١١]، وتمكّن له من

---

(٤) المصدر نفسه، الفصول ٣-٥، و Poincaré, *La Valeur de la science,* chaps. 3 et 6.

(٥) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, chaps. 3.

(٦) Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 140.

(٧) المصدر نفسه. انظر في هذا المعنى:
Poincaré, *Science et méthode*, pp. 21 et 32.

(٨) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, pp. 191-214 , et *La Valeur de la science*, chap. 11.

(٩) Pierre Simon Marquis de Laplace: *Essai philosophique sur les probabilités* (Paris: Edition Chiron, 1920), et «Leçon de Laplace, dixième leçon,» dans: *L'Ecole normale de l'An III, leçon de mathématiques, Laplace Lagrange, Monge*, sous la direction de Jean Dhombres (Paris: Dunod, 1992), pp. 125-140.

(١٠) Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 141.

(١١) «إن الإنسان المجهول الذي اخترع كلمة سخونة أوقع أجيالاً عديدة في =

اكتشاف ما بين الظواهر المختلفة بالحس من تماثل خفي يجلوه التناظر الرياضي[١٢] فيهيّئ له أسباب انشاء تأليفات تتسع يسيراً يسيراً في اتجاه جمع الشتات، وتوحيد ظواهر الطبيعة، بإخضاعها إلى قوانين متراتبة متجانسة، تنزع ـ عند حدّ ما ـ إلى التوحد في قانون كلي، مثل قانون الجاذبية الكونية.

وليس من الهيّن أيضاً أن تكون للفيزيائي، وهو يعالج الشأن الطبيعي، لغة «واثقة من تفكيرها» تتيح له إمكان تعلم ما يمكن أن تكون ـ في المراس العلمي ذاته وليس على جهة الرؤى العامة وحدها ـ معاني «الاستقراء» و«الاستكمال» و«التعميم» و«الاستدلال»، وما يمكن أن تكون معاني «القانون العلمي» بما يجري عليه من محفّات تحدّد مجال صلاحيته، وهامشِ إمكان الخطأ فيه، وما يمكن بالتالي أن تكون «قيمة العلم»، سواء من جهة علاقته بالعقل، بما تنطوي عليه تلك العلاقة المزدوجة من «واقعية» تجعل علمنا علماً بحقائق الأشياء، أو «اسمية» ينحدّ بها مداه عند ظواهرها، فإذا المعرفة «يقينية «صورياً، ولكنها غير يقينية «موضوعياً» يأخذها ما قرب وما بعد من ضروب «الريب» و«الاحتمال» بحسب أنواع المقاربات ومستوياتها.

ومن شأن هذا التفاوت بين «الصوري» و«الموضوعي»، بين يقين الأول ولايقين الثاني، أن يُلزم بمعاودة طرح اشكال «العلم والفرضية» على أسس جديدة، وبوسائل مستحدثة، في مناخ نظري غير مسبوق، لعلّ من أشهر علاماته ما شهده العلم الميكانيكي من اهتزاز في مفاهيمه ومبادئه، بعد أن بلغ به لابلاس (Laplace) ولاغرانج (Lagrange) منتهى ما يمكن أن يبلغه من الدقة في بناء

= الخطأ إذ اعتُبرت السخونة جوهراً لا لشيء إلا لأنه دُلّ عليها باسم، وذهب الظن فيها إلى أنها غير تالفة»، انظر: المصدر نفسه.

(١٢) المصدر نفسه، ص١٤٢-١٥٥.

المفاهيم، وصياغة المبادئ، ومن الصرامة في نظم الاستدلال[١٣]، حتى لكأنّ بنية العلم أضحت معهما من بنية العقل الانساني ذاته، وحتى لكأن منتهى «ما يمكنني أن أعرف» انما يتحدد فيُعلَم على جهة اليقين بذلك العلم ذاته، على ما نلمس عند صاحب **نقد العقل المحض**[١٤].

والحق أن بوانكاريه لم يشهد تهاوي «المطلقات الرياضية» والميكانيكية وحدها، وإنما شهد كذلك امتداد الشك - في المجال الفيزيائي إلى ما يمكن أن يكون الواقع المادي، إذا ما نفذنا إلى بعد غير يسير من أبعاده الباطنة. وكان ذلك بالخصوص يوم حملت فتوحات البصريات الفيزيائية وعلم الكهرباء على مراجعة معنى «الكتلة» التي عدت حتى ذلك الوقت، ثابتة كونية وخاصية أساسية من خصائص «المادّة». وقد خيل لبوانكاريه ولغيره من العلماء[١٥] أن ساعة إعلان «نهاية المادّة»[١٦] قد أزفت، وذلك بالنظر - على الأقل - إلى ما أُنجز - نظراً وتجربة - من قبل علماء لا يشق لهم غبار من أمثال أبراهام (Abraham) وكوفمان (Kaufmann) وغولدشتاين (Goldstein). فباعتبار أن مفهوم «الكتلة»، إنما صيغ في سياق ميكانيكي قدّرنا فيه أن أقصى السرعة في حركة الأجرام

---

(١٣) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, chap. 4.

(١٤) Immanuel Kant: *Critique de la raison pure*, traduction A. Tremesaygues et B. Pacaud (Paris: Presses universitaires de France, 1968), et *Critique of Pure Reason*, translated and edited by Paul Guyer and Allen W. Wood, (Cambridge, MA; New York: Cambridge University Press, 1997).

(١٥) انظر على سبيل المثال :

W. Ostwald, «La Déroute de l'atomisme contemporain,» *Revue générale des sciences pures et appliquées*, no. 21 (15 novembre 1985), et Gustave Adolphe Hirn, *Recherches expérimentales et analytiques sur les lois de l'écoulement et du choc des gaz en fonction de la température* (Paris: Gauthier - Villars, 1886).

(١٦) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, pp. 245-250 ; *Science et méthode*, pp. 232-254; *La Valeur de la science*, pp. 180-199, et «Les Conceptions nouvelles de la matière,» dans: Henri Louis Bergson, *Le Materialisme actuel* (Paris: Flammarion, 1913), pp. 49-67.

السماوية يتراوح بين ٦٠ و ١٠٠ كم في الثانية في حين أن سرعة الضوء تبلغ ٣٠٠,٠٠٠ كم في الثانية، كان لا بدّ أن يغير ذلك كل المعطيات، بدءاً بمبدأ جمع السرعات على الطريقة الغاليلية حتى القول بـ «الكتلة الصفر»(١٧).

٢ ـ بوانكاريه المبدع في العلم

غير أن بوانكاريه لم يكن مجرد طُلَعة يجتهد في الالمام المعمق بما شهده علم عصره من تحولات ابداعية، أو اصلاحات مفيدة استقام بها شأن «الانموذج النيوتوني» في الشكل الذي أضفاه عليه لاغرانج ولابلاس، بل إنه ساهم ـ من موقع العالم الفاعل ـ في ذلك كله، فأغنى العلم إغناء جعل أهل زمانه يعتبرونه «أهم الباحثين وأقواهم ذكاء في مجالي الرياضيات والفيزياء الرياضية» في عصره(١٨) ولربّما في «جميع العصور»(١٩).

ولئن كان المجال لا يتسع ها هنا لتفصيل القول في إبداعات بوانكاريه العلمية الصرف، فإنه لا بد ـ طمعاً في جواب ممكن عن السؤال المطروح ـ أن نذكر أهمها. فعمله المتّصل بما سماه «الدالات الفوخسية»(٢٠) يرتقي به إلى مرتبة ديكارت (Descartes)

---

(١٧) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, p. 247, et *Science et méthode*, pp. 220-224.

(١٨) انظر تقرير جائزة بولاي (Bolayai Prize) التي مُنحت حوالى سنة ١٩٠٥ لهنري بوانكاريه من قبل أكاديمية العلوم المجرية في مقالة هولتون:

Gerald James Holton, «On the Thematic Analysis of Science : The Case of Poincaré and Relativity,» dans: Alexandre Koyré, *L'Aventure de l'esprit* (Paris: Hermann, 1964), P. 259.

(١٩) «Les Mathématiques au XIXème siècle,» dans: Mauris Daumas, ed., *Histoire de la science*, encyclopédia de la pléiade ([Paris: Gallimard, 1957]), pp. 640-641.

(٢٠) نسبة إلى العالم الألماني فوخس (Fuchs)، وهي الدالات التي تسمى اليوم «الدالات المتشاكلة» (Fonctions automorphes).

وفيرما (Fermat) وكوشي (Cauchy)[٢١]، ولئن هو لم يوغل في وضع أسس حساب الاحتمالات أكثر مما ذهب فيه لابلاس[٢٢] بعد بارنولي (J. Bernoulli)[٢٣] فإن العلماء يحفظون له فضل إدخال مفهوم الدّالة الموجبة ذات المتغيّرة التحكمية في تعريف الاحتمال[٢٤]، ويذكرون له أهميّة تلك المبادرة في بلورة ما سمّي في تاريخ الرياضيات بمفارقات جوزيف برتراند[٢٥] (Joseph Bertrand)، كما لا ينكرون عليه ما بذل من جهد نظري وبيداغوجي لتوضيح مفاهيم أعقد[٢٦] فروع الهندسة وهي الطوبولوجيا التي كان يسميها Analysis Situs والتقدم بها في اتجاه توطيد الأسس وتوسيع المكاسب[٢٧] فضلاً عما اشتهر به، خاصة في الأوساط الفلسفية والابستيمولوجية بتقنية «الاستدلال بالتراجع»[٢٨].

وليس مما يحتاج إليه بيان أهمية مساهمة بوانكاريه، أستاذ

---

(٢١) انظر: المصدر نفسه، ص ٦٤٤.

(٢٢) انظر: Laplace: *Essai philosophique sur la probabilité,* et «Leçon de Laplace, dixième leçon».

(٢٣) لمعرفة مساهمة بارنولي في حساب الاحتمالات، انظر: Daumas, ed., Ibid., p. 586.

(٢٤) Emile Borel, Robert Deltheil et R. Huron, *Probabilités. Erreurs* (Paris: A. Colin, 1958), pp. 128-130, et Emile Borel, *Le Hasard* (Paris: A. Alcan, 1938), pp. 91-95.

(٢٥) انظر في ذلك: المصدران نفسهما، ص١٢٨ ـ ١٣٠ و١١٨ - ١٢٠ على التوالي.

(٢٦) عرّف كاستار الطوبولوجيا بكونها ممارسة «الهندسة على ورق من مطاط» فإذا ما رُسم منحن ما ثم جُذب ذلك الورق، وعُوّج، وفُرك شتى أنواع الفرك من غير أن يتمزق، فكيف يمكن تحديد الخاصيات النوعية أو الكيفية لذلك المنحني بصرف النظر عن خاصياته المترية المرتبطة بقيس المسافات والزوايا؟ انظر: Humbert, «Les Mathématiques au XIXème siècle,» p. 644.

(٢٧) انظر: Louis Rougier, *La Philosophie géométrique de Henri Poincaré* (Paris: F. Alcan, 1920).

(٢٨) Poincaré: *La Science et l'hypothèse,* pp. 31-46, et *Science et méthode,* livre 2.

الميكانيكا السماوية بجامعة باريس، في بلورة ما سماه المؤرخون «بمعضلة الأجسام الثلاثة»[(٢٩)] في اشارة منهم إلى ما لقيه نيوتن من مصاعب في حلّها ألزمته - من حيث لا يحتسب - باستبدال «المبادئ الرياضية» بـ «مبادئ لاهوتية»، لتفسير ما يلاحظ في مسارات الاجرام السماوية من اضطراب مثل اضطراب حركة زحل كلّما اقترن بالمشتري[(٣٠)]، وهو ما شنّعه عليه لايبنتز (Leibniz)[(٣١)] لما يفضي إليه ذلك الاستبدال من خلط بين العلمي واللاعلمي، ومن تناقض بين «الرياضي» و «اللاهوتي»[(٣٢)]، كما عابه عليه لابلاس[(٣٣)] وحتى كوندورسي من قبله، ولو على استحياء لا يكاد

---

(٢٩) Henri Poincaré, «Le Problème des trois corps,» *Revue générale des sciences pures et appliquées*, no. 2 (1891).

(٣٠) Isaac Newton: *Principes mathématiques de la philosophie naturelle,* traduction de Madame la Marquise de Chastelet, M.D. CC. LVI (Paris: A. Blanchard, 1727), Vol. 2, Proposition 13, pp. 30-31, et *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated by F. Cajori ([California]: University of California Press, 1971), Vol. 2, pp. 421-422.

(٣١) مما عابه لايبنتز على نيوتن أنه التجأ إلى «المعجزات» و«الخوارق» وتجاوز «الفيزياء» في اتجاه «الميتافيزيا» لتفسير الجاذبية الكونية وتبرير القول «بتبدّد القوة» في الكون تبريراً يناقض صراحة المبدأ الذي قام عليه العلم الميكانيكي النيوتوني نفسه. انظر في ذلك المراسلات الشهيرة التي جرت بين لايبنتز وكلارك نائباً عن نيوتن: Gottfried Leibniz, *Correspondance Leibniz - Clarke,* présentée d'après les manuscrits originaux des bibliothèques de Hanovre et de Londres par A. Robinet (Paris: Presses universitaires de France, 1957).

(٣٢) وهو بالفعل تناقض جلي عند نيوتن، ذلك أن «مكنة العالم» (Machina Mundi) تحكمها قوانين صارمة مثل بقاء كمية المادة، وبقاء كمية الحركة وبقاء كمية القوة. ثم إن مسارات الأجرام السماوية محدّدة قبلياً تحديداً لا تملك أن تخرج عنه. فكيف نفسر إذاً اضطراب المسارات وانزياح الكواكب عن منازلها؟ ولما كان نيوتن غير مقتدر على بلورة «معضلة الأجسام الثلاثة» التجأ إلى الحل اللاهوتي وقال بتبدد الحركة خلال الزمن وبالتالي بوجوب تدخل الإله بين الفينة والأخرى لتعديل نظام الكون. انظر في ذلك:
Isaac Newton, *Traité d'optique*, reproduction fac-similé de l'édition de 1722 (Paris: Gauthier-Villars, 1955), Question 31.

(٣٣) انظر إحصاء أخطاء نيوتن عند لابلاس Pierre Simon Marquis de Laplace, *Exposition du système du monde*, tome 2, livre 5, chap. 5, p. 285.

يخفى[٣٤] . ولعل في إجازة بوانكاريه على ما بذله من جهد في ايجاد الحلّ العلمي الملائم لتلك المعضلة التي حيّرت العلماء، ما يشير إلى أهمية إنجازه على الأقل بالنسبة إلى معاصريه[٣٥].

أما في ما يتعلق بالعلوم الفيزيائية فإن حضور بوانكاريه البيداغوجي[٣٦] والعلمي مما ترك بالغ الأثر في علم العصر وعلمائه، سواء تعلق الأمر بعلم الطاقة الحرارية أو البصريات أو النظريات الكهرومغناطيسية[٣٧]...

والأكيد أن الأهم من ذلك كله، أن بوانكاريه كان قد وضع في حدود سنة ١٩٠٤ أهم الأسس التي انبنت عليها نسبية انشتاين، إذ بيّن استحالة القول بالحركة المطلقة[٣٨] والمكان المطلق[٣٩] والزمان المطلق[٤٠]، مؤكداً في وضوح لا مزيد عليه، أنه «يستحيل علينا الإفلات من الإحساس بأن مبدأ النسبية يشكل قانوناً عاماً من قوانين الطبيعة، وبأنه لن يتاح لنا بأية وسيلة تخيلناها إلا الوقوف على سرعات نسبية....»[٤١]، مما يلزم عنه ضرورة القول بـ«مبدأ الحركة النسبية»[٤٢]، ومراجعة النظر في مبدأ جمع

---

(٣٤) Cercle Condorcet, *Du Problème des trois corps* (Paris: Imprimerie de Didot, 1767), pp. 2 et 63.

(٣٥) Gerald James Holton, *L'Imagination scientifique* (Paris: Gallimard, 1981), p. 153.

(٣٦) «Henri Poincaré et les théories de la physique,» dans: Louis de Broglie, *Savants et découvertes* (Paris: Albin Michel, 1951), pp. 45-48.

(٣٧) انظر كذلك إلى جانب ما كتبه العلامة دي بروغلي في المصدر السابق، ما جاء في مقالة هولتون المذكورة بالهامش ١٨ وما جاء في: Holton, *L'Imagination scientifique*, pp. 148-163.

(٣٨) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 129-138.

(٣٩) المصدر نفسه، ص ١١١، و Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 64-272.

(٤٠) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, p. 111, et *Science et méthode*, pp. 95-122.

(٤١) المصدر نفسه، ص ٢٤٠.

(٤٢) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, p. 129, et *La Valeur de la science*, pp. 185-190.

السرعات، إذ قد يخيل إلينا أنه إذا ما تحرك ملاحظ ما بسرعة ٢٠٠,٠٠٠ كم في الثانية وتحرك جسم بسرعة ٢٠٠,٠٠٠ كم في الثانية حركة نسبية بالنظر إلى ذلك الملاحظ، فإن سرعته ستبلغ ٤٠٠,٠٠٠ كم في الثانية، وهو محال لأن تلك السرعة ستفوق سرعة الضوء[٤٣]، بما هي السرعة الحدّ.

ولم تكن تلك المبادئ عنده مجرّد رؤى نظرية، أو فرضيات رياضية فحسب، بل استندت إلى نتائج أدق التجارب مثل تجارب ميكلسون[٤٤] (Michelson) وكوفمان (Kaufmann) وأبراهام[٤٥] (Abraham)، وإلى أعمق فرضيات العصر مثل فرضية فيتزجيرالد ـ لورانتس (Fitzgerald-Lorentz) القائلة بتقلص أبعاد الأجسام المتحرّكة[٤٦] وبالتّالي تغير أشكالها تبعاً لسرعَات حركاتها في سياق مماثل لتغير كتلها.

٣ ـ بوانكاريه ينكر النسبية

تلك معطيات تبيّن، على اختزالها، أن بوانكاريه كان عند صدور هذا الكتاب الذي نضعه بين يدي القارئ العربي سنة ١٩٠٢، أي بضع سنين قبل صدور رسالة انشتاين[٤٧] سنة ١٩٠٥،

---

(٤٣) Poincaré, *Science et méthode*, p. 252.

(٤٤) المصدر نفسه، ص ٢٣٧، و Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 193 et 196.

(٤٥) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, p. 246, et *La Valeur de la science*, p. 195.

(٤٦) ذهب فيتزجيرالد إلى أن جميع الأجسام تتقلّص بنسبة عندما تتحرّك في اتجاه حركة الأرض. انظر: المصدران نفسهما، ص ٢٤٨ ـ ٢٤٩، وص ١٨٨ على التوالي، و Poincaré, *Science et méthode*, pp. 98-103 et pp. 235-240.

(٤٧) Albert Einstein, *Sur l'électrodynamique des corps en mouvement*, traduit par M. Solovine (Paris: Gauthier-Villars, 1925).

نشرت هذه الرّسالة في: ***Annalen der physik***, tome 17 (1905).

على بينة من أهم أسس نظرية النسبية إن لم نقل من «جميعها»، كما ذهب إلى ذلك لوي دي بروغلي (L. de Broglie)[٤٨] فلِمَ لم **يصغها**؟ ولِمَ **تردّد فيها**، بل لِمَ **أنكرها**؟

فأما أنه **لم يصغها** ـ وهو المؤهل فعلاً لصياغتها ـ فذلك مما لا يُحتاج فيه إلى كبير عناء، إذ تشهد به آثاره «العلمية» و«الفلسفية» معاً. وليس من غريب الصدف أن تضاف تلك النظرية إلى العالم الألماني دون العالم الفرنسي.

وأمّا أنه **تردّد فيها**، فذلك ما نقف عليه في الكثير من مقالاته حيث غلب الشك على اليقين، واستولى الإحجام على الإقدام.

لنعتبر هذا المثال، ولنضع جدلاً، أننا وقفنا على تناقض بين هندسة إقليدس وبين معطىً فيزيائيٍّ أو ميكانيكي ما، فما يمكن أن يكون الحل الملائم، أي ذاك الذي يدفع بالعلم إلى **مزيد التقدم**؟ لقد اختار بوانكاريه أن يكون الحل على النحو التالي: «إذا كانت هندسة لوباتشفسكي صحيحة فسيكون اختلاف المنظر (Parallaxe) بالنسبة إلى نجم غاية في البعد، متناهياً. وإذا كانت هندسة ريمان صحيحة فإنه سيكون سالباً. تلك نتائج تبدو في متناول التجربة، وقد راود البعض الأمل في أن تمكّن الارصاد الفلكية من الحسم بين الهندسات الثلاث. ولكنّ ما نسميه ـ في علم الفلك ـ خطّاً مستقيماً، إنما هو مسار الشعاع الضوئي. فلو توصّلنا إلى الكشف عن اختلافات منظر سالبة، أو إلى البرهنة على أن جميع ضروب اختلاف المنظر أكبر من حدّ ما، لكان لنا أن نختار بين استنتاجين: فإمّا أن نتخلّى عن الهندسة الاقليدية، وإمّا أن نغيّر قوانين البصريات، ونسلم بأن الضوء لا ينتشر تدقيقاً على خط

(٤٨) «Henri Poincaré et les théories de la physique,» p. 49.

مستقيم. ولا تدعو الحاجة إلى أن أضيف أن الجميع سيعتبرون هذا الحلّ أفضل، وبالتّالي فليس للهندسة الإقليدية ما تخشاه من جرّاء تجارب جديدة»[٤٩].

فهل كان هذا الاختيار هو الاختيار الملائم على معنى الدافع إلى تقدّم العلم، بصرف النظر هاهنا عن أسبابه ؟ وما يمكن أن يكون ذلك «الأفضل» أو قل «الأنفع» أو «الأجدى» الذي تخيره بوانكاريه معياراً للفضل بين مقالتين متساويتي الاحتمال صورياً؟ وإذا قلنا بسلامة ذلك المعيار جدلاً، فهل ثمة ما يبرّر الاصرار عليه إذا ما بانت في أفق النظر العلمي إمكانات مغايرة لتلك التي يلزم بها منطقياً؟

كان كوبرنيك يقول: «إنما وضعت الأمور الرياضية للرياضيين»[٥٠] (Mathematicis scribuntur Mathemata)، فما يمكن أن يكون موقف الرياضيين وما يمكن أن يكون رأي العلم المحض في ما ذهب إليه بوانكاريه، وهو العارف بخصائص الهندسات اللاإقليدية، وبما تتيحه من امكانيات تصور المكان على نحو لا يكون فيه متجانساً ولا ثلاثي الأبعاد، وإن أمكن «ترجمة» جميعها إلى الهندسة الإقليدية مثلما يترجم بواسطة معجم ثنائي اللغة نصّاً من لغة إلى أخرى[٥١] ؟

ليس ثمّة ـ على ما يبدو ـ ما يشهد لوجاهة ما ذهب إليه بوانكاريه، لأنه ليس ثمة ما يلزم بالقول بثلاثية أبعاد المكان ولا بتجانسه على ما أوحت بذلك في عهد بوانكاريه نفسه، أعمال ريمان وهلمهولتز (Helmholtz)، وهو ما بيّنه تايت (Tait) سنة ١٨٨٤ في أولى محاضراته التي خصّصها لتأمل ما حققه العلم الفيزيائي من

---

(٤٩) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 94-95.

(٥٠) Nicolas Copernic, *Des Révolutions des orbes célestes*, traduit par Alexandre Koyré (Paris : F. Alcan, 1934), p. 48.

(٥١) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, p. 68, et Rougier, *La Philosophie géométrique de Henri Poincaré*, pp. 92-116.

تقدّم(٥٢) حيث نقرأ ما يلي «لنفترض أن ورقة كاغد تمثل المكان ذا البعدين. ولنفترض أنه عندما ثنيناها، شكّلنا أجزاء مسطحة وأخرى اسطوانية أو مخروطية. فلنا أن نؤكد سلفاً، أن ساكن مثل تلك الطبقة ـ باعتباره يعيش في مكان ذي بعدين وحيدين، وبالتالي فهو غير قادر على تصور بعد ثالث ـ سيشعر بضرب من الفرق في احساساته عندما ينتقل من أجزاء أقل انحناء إلى أخرى أكثر انحناء من المكان الذي هو فيه. وقياساً على ذلك، كان من الممكن أن نصل خلال حركة النظام الشمسي السريعة في المكان، إلى جهات لا تكون فيها للمكان الخاصيات التي هي له في موضعنا هذا، بل هي جهات قد تكون له فيها ـ من حيث ثلاثية الأبعاد ـ خاصية أشبه ما تكون بانحناء المكان ثنائي البعد، أو قل هي خاصية قد يلزم عنها تغيّر في الشكل يلحق أجزاء المادّة بالنسبة إلى بعد رابع حتى تتأقلم مع حيزها الجديد»(٥٣).

ومعنى ذلك ـ باختصار شديد ـ أنه ليس ثمّة ما يمنع من أن نتصور أنّ النظام الشمسي برمته يمكن أن ينتهي يوماً ما، إلى أرجاء من المكان الكوني، تتغير فيها انحناءاته فلا يكون متجانساً. وعندها لا يكون الواجب تغيير قوانين البصريات مثلاً وإنما تغيير مبادئ الهندسة بصرف النظر كليا عن معيار «الأجدى» أو «الأنفع»(٥٤).

ذلك هو ـ على كل حال ـ الطريق الملكي الذي استقله العلم

(٥٢) Peter Guthrie Tait, *Conférences sur quelques-uns des progrès récents de la physique*, traduit de l'anglais par M. Krouchkoll (Paris : Gauthier-Villars, 1987).

(٥٣) المصدر نفسه، ص ١٣.

(٥٤) انظر أيضاً ما كتبه ايدانغتون أستاذ علم الفلك بجامعة كامبريدج لاحقاً في الموضوع نفسه:

Arthur Stanley Eddington, *Espace, temps et gravitation : La Théorie de la relativité généralisée dans ses grandes lignes: Exposés rationnels suivi d'une étude mathématique de la théorie* (Paris: Hermann, 1920), pp. 11-13.

على يدي انشتاين، انطلاقاً من بوانكاريه[٥٥] وفي عهده[٥٦]، وبالأدوات ذاتها التي ساهم بوانكاريه في التعريف بها ونشرها، مثلما هو الشأن في معادلات ماكسويل (Maxwell)[٥٧] أو في تدقيقها وتصحيحها، مثلما هو الشأن مع أعمال لورانتس[٥٨]. فلمَ أحجم عن وضع نظرية النسبية والحال أنه أول من صاغ المعادلات الرياضية التي قامت عليها السينيماتيكا النسبية[٥٩]؟ فضلاً عن أن انشتاين نفسه يعترف صراحة بتأثير كتاب «العلم والفرضية» في صياغة رؤاه النظرية[٦٠]، ولمَ تردد فيها[٦١]؟ بل

---

(٥٥) لم ينكر انشتاين أبداً تأثير بوانكاريه في رؤاه التي قادته إلى صياغة نظرية النسبية. انظر رسالته إلى بيسو بتاريخ ٦ آذار/مارس ١٩٥٢ في: Albert Einstein, *Correspondance avec Michele Besso, 1903-1955* (Paris : Hermann, 1979), pp. 271-273.

(٥٦) انظر الهامش رقم (٤٧) أعلاه.

(٥٧) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 216-225.

(٥٨) Holton, *L'Imagination scientifique*, p. 154, et Broglie, *Savants et découverts*, pp. 49-50.

(٥٩) كان ذلك عندما درس بوانكاريه ديناميكا الالكترون ونشر دراسته تلك بالمجلة الإيطالية المسمّاة: *Rendi conti del circolo male matito di Palerma*, no. 2 (1906).

والجدير بالذكر أن تلك الدراسة هي محاضرة ألقاها بوانكاريه يوم ٥ حزيران/يونيو ١٩٠٥، في حين أن أولى مقالات انشتاين المتّصلة بالموضوع نفسه والتي كانت منطلقاً لنظريته في النسبية الخاصّة وصلت المجلة التي ذكرناها يوم ٣ حزيران/يونيو ١٩٠٥. انظر الهامش رقم (٤٧) أعلاه، والمصدران نفسهما، ص ١٥١، الهامش رقم (١١)، وص ٥٠ على التوالي.

(٦٠) انظر رسالة انشتاين إلى بيسو بتاريخ ٦ آذار/مارس ١٩٥٢ الواردة في الهامش رقم (٥٥) أعلاه.

(٦١) ما يمكن أن يكون وضع «النسبية» عند بوانكاريه؟ هل هي «قانون طبيعي» (انظر: الهوامش أرقام (٤١؛ ٤٢؛ و٤٣) أعلاه)، أم أنها مجرد «واقعة تجريبية مثلها مثل خاصيات الأجسام الصلبة الطبيعية، وهي بذلك التقدير، قابلة للمراجعة مراجعة لا تنتهي؟» انظر: Poincaré, *Dernières pensée*, p. 51.

فما استنبط من التجربة يمكن أن تكذبه التجربة وبالتالي وجب عنده الشك في ما يمكن أن يضاف إلى مبدأ النسبية من قيمة صارمة، انظر في ذلك: Poincaré, *Science et méthode*, p. 248.

لم تجاهلها وكأنما هو لم يكن من أهمّ مؤسّسيها[٦٢]؟

ليس لنا ولا علينا، في هذا الموضع أن نستوفي شروط إجابة ممكنة عن سؤال فشل بوانكاريه، وانما نكتفي باستشراف الأفق الذي في اتجاهه وفي حيزه قد ينال ما طلب. ونحن نقدّر أولياً أن استشراف ذلك الأفق إنما يكون بتوسط ١) النظر في المراس العلمي عند بوانكاريه وأوضاع العلم في عصره ٢) وتأمل رؤاه في فلسفة العلم ٣) وتنزيل هذا وذاك في «روح العصر» وقيمه العملية، عسانا ندرك ما في آثار الرجل من فواعل وعوامل هيأته إلى أن يكون من كبار علماء عصره، ومن قوابل وصوارف منعت عليه اقتحام «عقبة النسبية» فكان آخر المحدثين دون أن يصير أول المعاصرين، وإذا هو في مرتبة دوهام[٦٣] (P. Duhem) وماخ[٦٤] (E. Mach) من دون أن يبلغ مرتبة انشتاين أو بلانك (Planck) صاحب نظرية الكوانطا[٦٥].

= انظر أيضاً حيرته بين تأكيد نسبية المكان Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 64 et 80. وإمكان القول بالزمان المطلق ولم لا المكان المطلق؟ انظر: Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 47.

(٦٢) فضلاً عن أن بوانكاريه لم يذكر - على ما يبدو - انشتاين إلا مرة واحدة (Poincaré, *Dernières pensées*, p. 216) فإنه أخذ من نظريته موقفاً غاية في السلبية على ما يذكر ذلك انشتاين نفسه متحدثاً عن لقائه به في مؤتمر سولفي (Solvay) سنة ١٩١١. انظر: Einstein, *Correspondance*, p. 26, note 1.

(٦٣) من أهم مؤلفاته التي ذهب فيها إلى رؤى تشبه إلى حد بعيد رؤى بوانكاريه نشير إلى:

Pierre Maurice Marie Duhem : *La Théorie physique, son objet et sa structure* (Paris: Chevalier et Rivière, 1906), et *Evolution de la mécanique* (Paris: Hermann, 1905).

(٦٤) Ernest Mach, *La Mécanique: Exposé historique et critique de son développement*, traduit par E. Picard (Paris: Hermann, 1904).

وعن ماخ أخذ بوانكاريه «مبدأ توفير الطاقة الذهنية» في العمل العلمي وما يلزم عنه من تفضيل «للبسيط» على «المعقّد» في صياغة القوانين العلمية واختيار «الحل الأجدى» من بين حلول كثيرة ممكنة. انظر:

Poincaré: *La Valeur de la science*, p. 133, et *Science et méthode*, pp. 23 et 29.

(٦٥) «L'Hypothèse des quanta,» chap. 6, pp. 164 - 192.

ثانياً: أسلوب بوانكاريه في المراس العلمي

١ ـ الفيزياء والرياضيات

لعلّ أول ما يمكن الاحتجاج به للوقوف على بعض ما يمكن أن تكون أسباب فشل بوانكاريه يستمد من مراسه العلمي ذاته. فقد أهمل أو قل ـ على الأقل ـ كاد يهمل الفوارق بين الفيزياء الرياضية والفيزياء التجريبية والفيزياء النظرية(٦٦)، اعتقاداً منه أن الرياضيات هي أرقى أشكال التنظير، ناهيك عن أن غلبة الروح الرياضي عليه جعلته أحياناً يتردّد في تحديد ما إذا كانت مسألة ما مسألة رياضية أو فيزيائية، مثلما هو الشأن في نظرية هامش الخطأ الذي لا يضر ـ عند تحديده ـ بنتائج البحث العلمي(٦٧) أو يغلّب ـ تلقائياً ـ المقاربة الرياضية على المقاربة الفيزيائية، مثلما هو الشأن عنده إذ يخلص إلى تدبر «تطور القوانين»(٦٨) العلمية أو تأمل مسألة تكونها استقرائياً، وهو الأهم لأنه الأبعد أثراً في بنية مراسه النظري.

لنضع ـ كما شاء ذلك أرسطو ـ أنه لا علم إلاّ بالعامّ(٦٩) ولنضع أن اقتناص العامّ لا يكون إلاّ استقرائياً(٧٠)، وأن نظريات الاستقراء المتعارفة بين المناطقة والفلاسفة والعلماء غير موفية بالغرض(٧١)، إمّا لصعوبتها الذاتية(٧٢)، وإمّا لما تعرّض له القائم بها من إمكان الوقوع

---

(٦٦) يكاد يقتصر بوانكاريه على التمييز بين الفيزياء التجريبية والفيزياء الرياضية ولا ذكر عنده تقريباً للفيزياء النظرية. انظر بالخصوص: Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 157-161.

(٦٧) المصدر نفسه، ص ١٤٤.

(٦٨) عندما طرح إشكال «تطور القوانين» (انظر Poincaré, *Dernières pensées*, pp. 5-32) يبدأ بالنظر فيه «بادئ ذي بدء من وجهة نظر الرياضي» (ص ٦) ثم يمر لاحقاً إلى «وجهة نظر أخرى» (ص ٢٣) هي وجهة نظر الفيزيائي.

(٦٩) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 34, et 39-40.

(٧٠) المصدر نفسه، ص ١١١-١٥٤.

(٧١) انظر رأيه في ميل (J. S. Mill): المصدر نفسه، ص ٧٠.

(٧٢) Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 258.

في الخطأ بفعل «التسرع وقلة الحذر»[٧٣]، وإمّا بالخصوص لما تتضمنه سلفاً من مبادئ فرعية كالقول «ببساطة» تمشي الطبيعة[٧٤] ووحدتها[٧٥].

ولنسلّم إضافة إلى ذلك كله، أن أرقى أشكال الاستقراء وأدقها، إنما هو منهج الاستكمال الرياضي على نحو ما يُبين عنه «الاستدلال بالتراجع» أو قل إن شئت «الاستدلال التراجعي»[٧٦] في علم الحساب أو العلم الميكانيكي[٧٧]، فهل «التعميم» الذي يمارسه الرياضي هو «كالتعميم» الذي يمارسه الفيزيائي؟ أم أن بينهما بوناً فيه الفرق بين «الماهيات» و«الموجودات»، بين الكائنات الرياضية، والأشياء الفيزيائية، أو قل بين الممكن والواقع؟

صحيح أن الفيزيائي لا يمكنه البتة أن يقف عند التجربة وحدها[٧٨] وإلا امتنع «التوقع»[٧٩] وبالتالي الفهم والفعل معاً. ولنسلم بأنه إذا كان التعميم ممكناً واتخذ في العلم الفيزيائي شكل الاستكمال الرياضي، فلأن الأصل في الظواهر القابلة للملاحظة، أنها متكونة بالحقيقة أو بالفرضية، من عدد كبير من الظواهر الأوّلية المتشابهة في ما بينها، وهو ما يسمح «تلقائياً بدخول المعادلات التفاضلية»[٨٠] في صياغة القانون الفيزيائي، كما تشهد بذلك قوانين فوريي (Fourrier) في انتشار الحرارة، أو موشور نيوتن في تحليل «الضوء الأبيض» إلى «أضواء أحادية اللون» أو «نظرية

---

(٧٣) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, p. 157.

(٧٤) المصدر نفسه، ص ١٦١.

(٧٥) المصدر نفسه.

(٧٦) المصدر نفسه، ص ٣١-٤٥.

(٧٧) Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 142 - 147.

(٧٨) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, p 157.

(٧٩) المصدر نفسه، ص ١٥٨.

(٨٠) المصدر نفسه، ص ١٧١.

الشّعرية»[٨١]، إلى غير ذلك من الموضوعات التي تُقسّم إلى عناصر أولية متفاضلة، ثم يكون تأليف المجموع تكاملياً، على النحو الذي تقتضيه قواعد حساب التفاضل والتكامل.

وطبيعي أن يتخذ التعميم في اطار هذه الشروط ـ أشكالاً رياضية متعدّدة[٨٢]. وعندها يطرح السؤال الحرج: أي الأشكال نتخيّر؟ وأية صيغة يحق اعتمادها قانوناً علمياً، أي قولاً في حقيقة ما يجري في الوجود؟ وما يمكن عندئذ أن يكون القانون العلمي؟ وما يمكن أن تكون «قيمة العلم»؟ والأقرب إلى الحق ـ في تقديرنا ـ أنه ليس لبوانكاريه ـ في غياب التمييز الضروري ـ بين الممكن والواقع، على غرار ما يجري عليه الأمر عند ديكارت مثلاً، أي بين الماهية الرياضية والوجود الفيزيائي على غرار ما يميز كانط بين الأحكام التأليفية القبْلية الرياضية، والأحكام التأليفية القبْلية الفيزيائية ـ إلاّ أن ينتهي ضرورة الى رد العلم إلى مجرد **فرضية** أو مجرد تعريف على معنى المعرفة **بالاسم** لا **بالحقيقة** و**بظاهر** الوجود لا **بجوهره**.

وذلك هو منتهى ما يمكن أن تدور عليه «اصطلاحيتُه» و«اسمانيته» و«ظاهريته» (Phénoménisme) على غرار ما جرّت إليه تلك المقالات عند غيره من أمثال دوهام (P. Duhem) وماخ (E. Mach) ونيتشه (Nietzsche) على اختلاف العبارة وفويرقات المقاصد، وعلى ما بذله بوانكاريه نفسه من جهد في نقد «الاسمانية» و «الريبية»[٨٣] وخاصة «الاصطناع» الذي ذهب إليه لو روا (Le Roy)[٨٤] وبرغسون.

---

(٨١) المصدر نفسه، ص ١٦٨-١٧١.

(٨٢) المصدر نفسه، ص ١٤٦ و٢٠٩-٢٤٠، و Poincaré, *Dernières pensées*, p. 122.

(٨٣) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 24, 25 et 26.

(٨٤) Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 213-276.

فإذا ما تعددت «الصيغ» و«تكافأت» حتى «التراجح» فلن يكون ثمّة من معيار يعتد به، لاصطفاء إحداها، إلا معيار «البساطة»[٨٥] على مخاطره وتقلباته[٨٦]، لا بما هو معيار «موضوعي» يحكي ما يحدث في واقع الطبيعة، وإنما بما هو الأيسر استخداماً من جهة الذات العارفة، وبالتّالي الأقرب إلى توفير أكثر ما يمكن من الطاقة الذهنية وفقاً لما يتطلبه «المبدأ الاقتصادي» العام[٨٧]، في سياق وظيفة العلم الأساسية وهي «الفعل» الهادف إلى تحقيق «التأقلم» مع المحيط الطبيعي[٨٨] على نحو ما تذهب إليه «النفعية» و«البراغماتية» و«الأداتية» بجميع أشكالها وفي كل عصر ومصر، من دون أن ينتفي مع ذلك الإحساس بالجمال كما نلمس ذلك عند ماخ[٨٩] (Mach) أو عند بوانكاريه نفسه[٩٠].

وعلى هذا النحو يتحوّل الاشكال الابستيمولوجي من النظر في **الحقيقة** إلى تحديد معايير **الجدوى** ما دام العلم معرفة «بالاصطلاح» أو «الفرضية»، ميزتها الظاهرة انها تمكن من الفعل في الأشياء من دون أن تُطمع في النفاذ إلى حقائقها. فما يمكن - من هذا المنطلق الظاهري الاسماني - أن يكون الفرق مثلاً بين مقالة بطليموس ومقالة كوبرنيك؟ لا شيء إلا يسر الاستخدام التقني، وفقاً لمبدأ اقتصاد الطاقة الذهنية. فسيَّان عند الفلكي أن نقول على جهة الإخبار «إن الأرض تدور» أو على جهة الافتراض

---

(٨٥) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 145 - 146.

(٨٦) لأن ما يؤخذ اليوم مأخذ الظاهرة البسيطة قد نكتشف غداً أنه يمثل ظاهرة «معقدة» انظر المصدر نفسه، ص ١٤٥، ١٩٠، ١٨٣، ١٦١ و٢١٠.

(٨٧) المصدر نفسه، ص ١٤٦، و٢٠٩-٢٤٠، و Poincaré: *La Valeur de la science*, pp. 241 - 276, et *Science et méthode*, pp. 15, 23, 24, 32 et 34.

(٨٨) Poincaré, *Science et méthode*, pp. 8, 23 et 48.

(٨٩) Mach, *La Mécanique: Exposé historique et critique de son développement*, pp. 33, 43 et 148.

(٩٠) Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 139, 141 et 147.

«من الأيسر افتراض أنّ الأرض تدور»[٩١]، إذ ليس في هذه القضية من المعنى أكثر أو أقل مما في تلك، ما لم يكن ثمة مكان مطلق، وما تبيّن لنا أن مختلف الأدلة التي أريد لها أن تشهد لحركتها ـ بما في ذلك تجربة فوكو (Foucault) وتسطحها عند القطبين ـ غير كافية[٩٢].

بل إن بوانكاريه يذهب إلى أبعد من ذلك فيعمّم القول بالتكافؤ بين الخبري (Assertorique) والافتراضي (Hypothétique) على وجود العالم ذاته. فما من فرق دلالي بين أن نقول: «إن العالم الخارجي موجود» وأن نقول: «من الأيسر افتراض أن العالم الخارجي موجود»[٩٣]، تماماً كما أنه لا فرق عند المهندس بين صياغة مبادئ إقليدس على هذا النحو أو ذاك[٩٤] ما دام الأمر لا يجري في جميع هذه الحالات إلى **الحقيقة** الموضوعية، وإنما هو يدور على معان ذهنية تنشأ **تحكمياً** وتتخيّر **ارادياً** من بين امكانيات متعدّدة متكافئة بالذات، ولكنها متفاضلة لا بقربها من الحقيقة أو بعدها عنها، بل بمجرد جدواها العملية. وهل العلم ـ في هذا السياق ـ إلا «قاعدة للعمل»[٩٥]؟ تقاس نجاعتها ـ مثل جميع الآلات والمكنات ـ «بإنتاجياتها»[٩٦]؟ وإن كان لا بد من تنازل «للمثاليين» فلنقل إنه لا يلزم عن تلك «النفعية» ضرورة،

(٩١) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, p. 133.

(٩٢) المصدر نفسه، ص ١٠٠ و ١٣٠-١٣١.

(٩٣) Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 272.

(٩٤) المصدر نفسه.

(٩٥) المصدر نفسه، ص ٢١٨. انظر في معنى أن العلم «قاعدة للعمل» وهي قاعدة «ناجحة»:

William James, *Le Pragmatisme*, traduit par E. Le Brun, introduction de H. Louis Bergson (Paris : Flammarion, 1968), deuxième leçon : *Ce qu'est le pragmatisme*, pp. 52-53 et 139.

(٩٦) المصدر نفسه، ص ١٦٠، و Poincaré, *Science et méthode*, pp. 23-25.

أن لا يطلب العلم لذاته[٩٧] من قبل «مجانين»[٩٨] زهدوا في المنافع وانقطعوا للنظر الصرف، فإذا هم بذلك أقرب ما يكونون إلى من سماهم بيرتولو (R. Berthelot) في عهد بوانكاريه نفسه، «بالرومنطقيين النفعيين»[٩٩].

٢ ـ العياني والتجريدي

ونحن لا نماري في ما بذله بوانكاريه[١٠٠] وبعض أنصاره[١٠١] من الجهد سواء في نفي «الريبية» أو «الاسمانية» ... أو الكبح من غلوائهما بالتمييز مثلاً بين «ريبية جذرية» و«ريبية معتدلة»[١٠٢]. ولكن أنّى لنا بمقاس «التجذر» و«الاعتدال» حتى نعلم عند أي مدى ينبغي التوقف عن الارتياب؟ ألم تكن ريبية هيوم ـ على «اعتدالها» بالنظر إلى الريبية الإغريقية . موقفاً أفضى إلى مناهضة «العقلانية» وردّ العلم إلى مجرد آلة، غربتها عن الحق على قدر نجاعتها في الفعل؟ فهل تنتفي الريبية بمجرد الدعوة إلى «الاقتصاد» فيها؟

الأقرب إلى الحق في تقديرنا أن لا سبيل إلى ذلك ما دامت «الريبية» تتحدد لا بضرب من الاقرار بانعدام «اليقين» وإنما بتأكيد

---

(٩٧) Poincaré: *La Valeur de la science*, pp. 275-276, et *Science et méthode*, p. 9.

(٩٨) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*.

(٩٩) René Berthelot, *Un Romantisme utilitaire, le pragmatisme chez Nietzsche et Poincaré* (Paris: F. Alcan, 1911).

(١٠٠) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, pp. 24, 173 et 195, et *La Valeur de la science*, Chaps. 10-11.

(١٠١) انظر على سبيل المثال:
«La Philosophie de Monsieur H. Poincaré,» dans: Jules Tannery, *Science et philosophie* (Paris : F. Alcan, 1911), chap. 4, pp. 68-74.

(١٠٢) Poincaré : *La Science et l'hypothèse*, pp. 172 et 195, et *la Valeur de la science*, p. 214.

استحالة الموضوعية[١٠٣]. فاليقين صفة من صفات التصورات في إطار الوعي بها، وبما يحايثها من «تميز ووضوح» كما يقول ديكارت، أمّا الموضوعية فتخصّ علاقة تلك التصوّرات بالوجود خارج الذهن. فالتأمل الميتافيزيقي الثاني أثبت «الكوجيتو» باعتباره «شيئاً يفكر»، وألقى على التأمل الثالث رهان البرهنة على «موضوعية» ذلك «الجوهر» بتوسط «الضمان الإلهي»[١٠٤]. وهو ما عابه كانط[١٠٥] على الآخذين به سواء تعلق الأمر بكروزيوس (Crusius) أو بديكارت باعتبار أن الالتجاء إلى «الضمان الإلهي» إنّما هو «إلغاء» لإشكال موضوعية المعرفة الإنسانية وليس حلاً له، وقد يُرضي ذلك «العقول الكسلى»[١٠٦] (ignavava ratio) ولكنه لا يلبي حاجة البحث العلمي، إذ ما أيسر أن يلقي الإنسان بجهله على كاهل الألوهية وكأنّما المعرفة ليست شأناً انسانياً صرفاً[١٠٧] لا دخل فيه أصلاً للإله، إلا على جهة تبرير الجهل أو تمرير الطاغوت.

---

(١٠٣) Georg Wilhelm Friedrich Hegel : *La Relation du scepticisme avec la philosophie*, traduction et note par B. Fauquet (Paris : Vrin, 1972); *La Phénoménologie de l'esprit*, traduit par Jean. Hyppolite, philosophie de l'esprit, 2 vols. (Paris: Aubier, 1939-41), pp. 171-176, et *The Phenomenology of Mind*, translated with an introduction by J. B. Baillie (New York: Harper Torch books, Harper and Row publishers; San Franciso; London: Hargerstown, 1967), pp. 246-250; Hamadi Ben Jaballah, *Le Fondement du savoir dans la critique de la Raison Pure* (Tunis: Publication de la Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, les Editions de la Méditerranné, 1997), pp. 39-63, et

«الريبية،» حمادي بن جاء بالله، **الموسوعة الفلسفية العربية** (بيروت: معهد الإنماء العربي، ١٩٨٨)، مج ٢، قسم ١.

(١٠٤) «Les Méditations métaphysiques,» dans: René Descartes, *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery (Paris: Vrin, 1996), vol. 9, pp. 18-42.

(١٠٥) Immanuel Kant, *Correspondance* (Paris: Gallimard, 1986), *«Lettre à Marcus Hertz du 21 février 1772,»* p. 96.

(١٠٦) «Raison paresseuse,» dans: Kant, *Critique de la raison pure*, et «lazy reason,» in: Kant, *Critique of Pure Reason*, p. 660.

(١٠٧) Ben Jaballah, *Le Fondement du Savoir dans la critique de la raison pure*, pp. 39-42.

فما يمكن أن يكون مَهرب بوانكاريه من الريبية، وهو ـ مثل كانط ـ لا يحمّل الإله أية مسؤولية ابستيمولوجية، ولكنه لا يقول بعقلانية على المنهج الكانطي؟ وهل تكفي التجربة وحدها لتأسيس موضوعية العلم، حتى لو مددنا لها في مداها وزدنا لها فيه تجوزاً؟

ليست التجربة عند بوانكاريه إلا «مناسبة»[١٠٨] تنطلق منها المعرفة العلمية «وتستأنس»[١٠٩] بها، ولكنها لا تنتهي عندها ولا «تقتصر عليها»[١١٠] ثمّ إنها لا تتصل بالأشياء وإنّما «بالعلاقات بينها»[١١١]. وخاصية التجربة الفيزيائية أنّها ـ خلافاً للتجربة التاريخية مثلاً ـ قابلة للمعاودة[١١٢] أو التكرار بما هو شرط إمكان «التعميم» واستنتاج «القانون» استقرائياً[١١٣]. ولما كانت كل تجربة على حدة، إنما تتم وفقاً لشروط لا تكتمل البتة[١١٤]، وفي ظروف لا تتكرر قط من دون أن يلحقها شكل من أشكال التغيير[١١٥] مهما تخيلناه ضئيلاً، كانت كل استنتاجاتنا «تقريبية»[١١٦] و«احتمالية»[١١٧] وبالتالي غير يقينية. فكيف ـ والحال تلك ـ تكون الرياضيات والميكانيكا وعلم الطاقة الحرارية مثلاً علوماً يقينية أو قل

---

(١٠٨) Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 127 et 152.

(١٠٩) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 24, 94 et 107.

(١١٠) المصدر نفسه، ص ١٥٧-١٥٨.

(١١١) المصدر نفسه، ص ١٠١.

(١١٢) المصدر نفسه، ص ٨٨ و١٥٧-١٥٨.

(١١٣) المصدر نفسه، ص ٤٤ و٨٨.

(١١٤) مثلما هو الشأن بالنسبة إلى مبدأ العطالة النيوتوني حيث نفترض أن الجسم المتحرك على الاستقامة والانتظام لا تؤثر فيه أية قوة خارجية. انظر: المصدر نفسه، ص ١١٣-١١٤، انظر أيضاً ما يقوله بوانكاريه في المصدر نفسه في ميكانيكا أندراد (Andrade) ص ١٢٧-١٢٨.

(١١٥) المصدر نفسه، ص ١٢٧ و١٥٨، و Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 249 et 258.

(١١٦) المصدران نفسهما، ص ١٢٤، وص ٥ و١٤٢ على التوالي.

(١١٧) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 160, 164 et 191.

كيف يكون الانتقال مشروعاً من التجريبي العيني والجزئي إلى النظري المجرد والعام[١١٨]؟ وبالتالي من «التقريبي» إلى «الدقيق»، ومن «الاحتمالي» إلى «اليقيني»[١١٩]؟

ذلك ما يجيب عنه بوانكاريه خاصة في الاستنتاجات العامّة التي ختم بها الجزء الثالث من هذا الكتاب، حيث بيّن كيف أن مبادئ الميكانيكا «تبدو لنا في مظهرين مختلفين. فهي من ناحية حقائق أسست على التجربة ووقع التحقق منها في ما يتعلّق بالكيانات شبه المعزولة تحققاً على غاية من التقريب وهي - من ناحية أخرى - مصادرات تقبل التطبيق على مجمل الكون وتؤخذ على أنها صحيحة صحة صارمة. وإن تميّزت تلك المصادرات بعموم ويقين لا نظير لهما في الحقائق التجريبية التي اشتقت منها، فلأنها ترد في آخر تحليل إلى مجرد اصطلاح، يحق لنا وضعه، يقيناً منّا مسبقاً، أنه ما من تجربة يمكن أن تناقضه (...) وهكذا نتبيّن كيف كان للتجربة أن تنشئ مبادئ الميكانيكا ولم لا يمكنها - مع ذلك - أن تفندها»[١٢٠].

فسواء تعلق الامر «بمبدأ العطالة»[١٢١] أو «مبدأ التسارع»[١٢٢] أو مبدأ «الفعل وردّ الفعل»[١٢٣] أو مبدأ «بقاء الطاقة»[١٢٤] ... فإننا نواجه الاشكال ذاته ونقوم بالعملية ذاتها إذ نحول **«قوانين» مستمدة من التجربة إلى «مبادئ» تعلو على التجربة،** ولكنها تصبح - بفعل ذلك التحويل بتوسط الانتقال إلى الحد -

(١١٨) Poincaré, *La Valeur de la science*, pp. 141 - 142.

(١١٩) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 191 - 213.

(١٢٠) المصدر نفسه، ص ١٥١.

(١٢١) المصدر نفسه، ص ١١٢-١١٧.

(١٢٢) المصدر نفسه، ص ١١٧-١٢٤.

(١٢٣) المصدر نفسه، ص ١١٩.

(١٢٤) المصدر نفسه، ص ١٤٠-١٤٤.

مجرد «اصطلاحات»، هي «فرضيات» أو «تعريفات مقنعة»، لا صلة لها بالواقع ولا بالتجربة. «فقانون» العطالة لا يتحول إلى «مبدأ» إلا إذا طبقناه على «حركة مركز ثقل الكون برمته»(١٢٥)، وكذلك الشأن بالنسبة إلى مبدأ «بقاء الطاقة»(١٢٦)، الذي يُردّ في آخر تحليل إلى مجرد **«تحصيل حاصل»**(١٢٧) إذ لا نملك أن نعبّر عنه إلاّ بقولنا «ثمّة شيء ما يبقى ثابتاً»(١٢٨) وهي مقالة لا تقل خواء عن مبدأ «العلّة الكافية» الميتافيزيقي(١٢٩).

وعلى هذا النحو تكون النتيجة شبه حتمية بالنسبة إلى العلاقة - داخل الخطاب العلمي - بين اليقين والموضوعية، إذ على قدر اشتداد ذاك يكون تناقص تلك، أو قل **«إن ما تستفيده المبادئ من جهة العُموم واليقين تفقده من جهة الموضوعية»**(١٣٠)، ما دام «كل تعميم فرضية»(١٣١)، وبالتالي معرفة بالظاهر والاسم، لا بالجوهر والحقيقة على معنى انها مجرّد «اصطلاحات وتعريفات مقنّعة»(١٣٢). وذلك أقصى ما يمكن أن تفرضه المقالة الاسمانية الظاهرية في شكلها اللاهوتي المناهضة في تخفٍّ لكل أشكال العقلانية حتى حين تدعي وصلاً «بالعقل» فتجعله ضرباً من «الشرع الداخلي» في خدمة «الشرع الخارجي».

٣ ـ الاسمانية والروح الكنسية

وهل طالبت الكنيسة غاليلي بغير ذلك أو بأكثر منه ؟ جاء في

---

(١٢٥) المصدر نفسه، ص ١٢٢.
(١٢٦) المصدر نفسه، ص ١٤٣.
(١٢٧) المصدر نفسه، ص ١٤٧ و١٤٨.
(١٢٨) المصدر نفسه، ص ١٤٣، ١٤٦ و١٧٨.
(١٢٩) المصدر نفسه، ص ١١٤، ١٩٨، ٢٠١، ٢٠٥ و٢١٣.
(١٣٠) المصدر نفسه، ص ١٢٣.
(١٣١) المصدر نفسه، ص ١٦٥.
(١٣٢) المصدر نفسه، ص ١٥٣.

رسالة الكاردينال بلاّرمان (Bellarmin) إلى فوسكاريني (Foscarini) بتاريخ ١٢ نيسان/أبريل ١٦١٥ أنه يحسن به وبغاليلي أن «يتصرفا بحذر مكتفيين بالقول (في الأشياء) على جهة الفرضية (ex suppositione) لا على جهة الاطلاق (...) فعندما نقول إننا ـ بافتراض الأرض متحركةً والشمس ساكنة ـ ننقذ جميع الظواهر إنقاذاً أفضل مما تتيحه الدوائر الخارجة عن المركز (excentriques) وأفلاك التدوير (épicycles)، إنّما نقول قولاً غاية في الحكمة، إذ لا خطر فيه وهو يكفي حاجة الرياضي. أما تأكيد أن الشمس تبقى ساكنة بالفعل في مركز العالم، وأنها تدور حول نفسها فحسب من دون أن تجري من الشرق إلى الغرب، وأن الأرض في المنزلة الثالثة من السماء، وأنها تدور بسرعة فائقة حول الشمس، فذلك قول غاية في الخطورة حيث إنه لن يغضب جميع الفلاسفة وجميع اللاهوتيين المدرسانيين فحسب ولكنه ينذر كذلك بإفساد الإيمان وتسفيه الكتاب المقدّس»(١٣٣).

وإلى مثل ذلك ذهب أوزياندر (Osiander) عندما وضع لكتاب كوبرنيك ـ في غفلة من صاحبه وخوفاً عليه ـ مقدمة ادعى فيها أنّ أستاذه لم يقم إلاّ بإضافة فرضية جديدة إلى الفرضيات المتعارفة بين الفلكيين، لتنظيم الظواهر السماوية وحساب حركاتها وتوقع منازلها، وأنه «ليس من الضروري أن تكون تلك الفرضيات صحيحة ولا حتى قريبة من الصحة، وإنما يكفي فيها أن تمدنا بحسابات تتطابق مع الأرصاد»(١٣٤) تماماً كما كان يقول

---

(١٣٣) Pierre Maurice Marie Duhem, *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée* (Paris: Hermann, 1908), pp. 128 - 129, et Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (New York: Dover Publications, 1978), pp. 344 - 352.

(١٣٤) Osiander, «Au lecteur sur les hypothèses de cette œuvre,» dans: Nicolas Copernic, *Des Révolutions des orbes celestes*, traduction, avec introduction et notes par Alexandre Koyré (Paris: F. Alcan, 1934), p. 48; Alexandre Koyré, *La Révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, histoire de la pensée; 3 (Paris: Hermann, 1961), pp. 36-44, et John Louis Emile Dreyer,

ابن خلدون[١٣٥] أو أ. كونت (A. Comte)[١٣٦] في السياق نفسه، وبعبارات تلخص رؤى كل ظاهري اسماني ينكر **موضوعية «الطبيعات»** من دون أن ينفي عنها **يقينها** الصّوري.

وهل شيء أحب إلى «الروح الكنسية» في جميع تجلياتها من ذلك الموقف «الوضعي» بما يسنده من **«خِبْرية»** ـ ولو ردت التجربة فيها إلى مجرد «مناسبة»، وظاهرية هي في صميمها زهد في معرفة الوجود بالحقيقة والجوهر أو صدّ عنها، إيماناً أو إيهاماً بوجوب الاستعاضة منه بمظاهره الشاخصة في الأعيان ـ واسمانية غاية ما تجري إليه ـ حين تتجاوز وضعها الإجرائي ـ الإيمان الساذج أو الإيهام المقصود «بقصور العقل» و«عجز الانسان».

فأما «قصور العقل» فيحتج له بانعدام «المطابقة» بين ما في **«الأذهان»** وما في **«الأعيان»** إذ الأول «أحكام ذهنية كلية عامة»[١٣٧] والثاني «موجودات خارجية متشخصة بموادّ ما» ولعل في المواد «ما يمنع من مطابقة الذهني الكلي للخارجي الشخصي»[١٣٨].

وأمّا «عجز الإنسان» فلازم منطقياً عن مقالة «قصور العقل».

= *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, 2nd ed. (New York: Dover Publication, 1953), pp. 319-321.

(١٣٥) أبو زيد عبد الرحمن بن محمد بن خلدون، **المقدّمة** (بيروت: مكتبة المدرسة، دار الكتاب اللبناني للطباعة والنشر، ١٩٦١)، ص ٩٦: «وهذه الهيئة صناعة شريفة وليست على ما يفهم في المشهور أنها تعطي صورة السماوات وترتيب الأفلاك والكواكب بالحقيقة بل إنما تعطي أنّ هذه الصور والهيئات للأفلاك لزمت عن هذه الحركات. وأنت تعلم أنه لا يبعد أن يكون الشيء الواحد لازماً لمختلفين...».

(١٣٦) لئن ارتقى «علم الفلك» إلى «الوضعية» منذ أقدم العصور فلأنه علم بالظاهر الذي ترصده «الملاحظة» وتنظمه الرياضيات. فأسبقيته التاريخية إلى «العلمية» ناتجة من تمشيه الابستيمولوجي الخبري الرياضي، انظر في ذلك: Auguste Comte, *Cours de philosophie positive* (Paris: Hermann, 1975), 19è et 20è leçons, p. 300.

(١٣٧) ابن خلدون، المصدر نفسه، ص ٩٩٦.

(١٣٨) المصدر نفسه.

ذلك أن امتناع النفاذ إلى حقيقة الأشياء الشاهدة دال بذاته - من باب أولى وأحرى - على استحالة استشراف حقائق الموضوعات الغائبة إلا بعون إلهي يرفع عنا «ذل الحجاب» ويهدي إلى مسالك «السّعادة» على نحو ما قال بذلك الأقدمون مثل الغزالي[١٣٩] وابن خلدون[١٤٠]، والمحدثون مثل لو روا (Le Roy)[١٤١] ودوهام (Duhem)[١٤٢] ومن لف لفهم ممن سماهم فوييي (A. Fouillée) بـ «الإيمانيين»[١٤٣] وهم رهط ذهب بهم الظن إلى أن الإيمان بالله لا يكون إلاّ بضرب من الانتحار العقلي وإعلان الوصاية على الضمير الإنساني، في حين يعلم العارفون بالله أن سبل الإيمان أرحب من أبواب السماء، وأكثر من أن تحصى عدداً.

لذلك كله سعدت الكنيسة بمقالة بوانكاريه الاسمانية الظاهرية

---

(١٣٩) انظر على سبيل المثال: أبو حامد الغزالي: **ميزان العمل**، ([القاهرة]: دار المعارف، ١٩٦٤)، ص ١٧٩-١٩٧، و**المنقذ من الضلال** (بيروت: دار الكتب العلمية، ١٩٩٤)، ص ٦٦-٨٢. وفي الكتاب نفسه انظر ما نسب إليه من رسائل مثل كيمياء السعادة، ص ١٢١-١٤٠، والرسالة اللافية ص ٥٧-٧٤ من المصدر نفسه.

(١٤٠) بعد أن نبّه ابن خلدون إلى مخاتل من «أضلّه الله من منتحلي العلوم» من أهل «الملّة» مثل الفارابي وابن سينا (ص ٩٩٥) كتب يقول: «وتجد الماهر منهم عاكفاً على كتاب الشفاء والإشارات والنجاة وتلاخيص ابن رشد للقصّ من تأليف أرسطو وغيره، يبعثر أوراقها ويتوثق من براهينها، ويلتمس هذا القسط من السّعادة فيها ولا يعلم أنه يستكثر بذلك من الموانع عنها» (ابن خلدون، المصدر نفسه، ص ٩٩٩).

(١٤١) هو من أقرباء بوانكاريه معاصر له (١٨٧٠-١٩٥٤) من أهم مؤلفاته:

Edouard Louis Emmanuel Julien Le Roy: *Une Philosophie nouvelle*, bibliothèque de philosophie contemporaine (Paris: F. Alcan, 1912), et *Les Origines humaines et l'évolution de l'intelligence*, bibliothèque de la revue des cours et conférences (Paris: Bolvin and Cie, 1928).

انظر الفصول الأخيرة من كتاب: Poincaré, *La Valeur de la science*.

(١٤٢) «Physique de croyant,» dans: Pierre Maurice Marie Duhem, *Annales de philosophie chrétienne*, 4ème serie, tome 1 ([s.l.: s.n.], 1905-1906).

(١٤٣) Alfred Fouillé, *Le Mouvement idéaliste et la réaction contre la science positive* (Paris: F. Alcan, 1896).

حيث تتكافأ نظريتا كوبرنيك وبطليموس ولا تَفْضُل إحداهما الأخرى إلا بيسر الاستخدام، أو دقة التوقع أو بساطة الأصول، فذهبت إلى حد إحياء تعليم النظرية البطليموسية مع ما يصحب ذلك من معاودة تأثيم غاليلي(١٤٤) وإدانة الحداثة نفسها، في مجرى تيار فكري انتقامي عام، كان من أهدافه «استئصال امبراطورية فولتير (Voltaire)» كما كان يطمح إلى ذلك شاتوبريان (Chateaubriand)(١٤٥) وجوزيف دو ماتر (J. de Maistre)(١٤٦) ولامني (Lamenais)(١٤٧)، وغيرهم كثير ممن سخَّروا أنفسهم لاستعادة مجد المسيحية عقيدة دينية، ونظاماً اجتماعياً.

لذلك بدت فرنسا في عصر بوانكاريه وكأنها تسترد أنفاسها لتجهز على «العقلانيين» و «الماديين» و «الميكانيكيين» و «العلمانيين» و «الملاحدة» وتسترجع «إيمانها بالله» وتنتقم «للعالم المسيحي والملكي» الذي اجهزت عليه «الثورة» بإيحاء من «الموسوعيين»(١٤٨) وفي مقدمتهم فولتير وديدرو (Diderot) ودالمبار (D'Alembert).

وللقارئ العربي اليقظ أن يقارن ما شاء بين مضامين هذه

---

(١٤٤) انظر في ذلك ما جاء في:
M.E. Wichersheimer, *Les Principes de la mécanique* (Paris: Dunod, 1905), p. 102, et Jacques Gapaillard, *Et pourtant elle tourne! Le mouvement de la terre*, science ouverte (Paris: Seuil, 1993), pp. 322 - 328.

(١٤٥) François-René de Chateaubriand: *Génie du Christianisme* (Paris: Garnier-Flammarion, 1966), pp. 43, 44 et 56, et *Atala: René* (Lausanne: Edition Recontres, [s.d.]), p. 19.

(١٤٦) Joseph de Maistre: *Essai sur le principe générateur des constitutions* (Lyon: [s.n.], 1822), et *Du Pape* (Paris: [s.n.], 1810).

(١٤٧) Félicite Robert de Lamenais, *Essai sur l'indifférence en matière de religion* (Paris: [s.n.], 1817).

(١٤٨) انظر في هذه المعاني الأخلاقية والدينية والسياسية وفي هذا الموقف العام من العلم والعقلانية العلمية ما كتبه غاستون ريو (Gaston Riou) في Bergson, *Le Matérialisme actuel*, pp. 153 - 193.
ومعلوم أن مقالات هذا الكتاب هي محاضرات ألقيت في مؤتمر نظمته جمعية دينية.

المواقف النكوصية، وما يملأ علينا أجواءنا حتى الاختناق من شغب فكري يجري إلى مقاصد معلنة لا تستقيم إلا بمقالة «العجز * الإنساني» و«قصور العلم» و«تفاهة العقلانية»، مقدمات لازمة لوضع مقالة «الحاكمية الإلهية» أو «الخلافة» أو غير هذا وذاك من أشكال التسلط على حرية البشر.

ولعلّ ما يشهد لوجاهة تلك المقارنة أن جوزيف دو ماتر (J. de Maistre) مثلاً كان يعتبر القرن التاسع عشر «الشيطان ذاته»[١٤٩] لأنه أقرب ما يكون عنده إلى «جاهلية» جهلاء اغتيلت فيها «الروح»[١٥٠] وانطفأ «الايمان الديني»[١٥١] لصالح «آلهة جديدة» صنعها العلم من أمثال تان (Taine) ورينان (Renan) وتوكفيل (Tocqueville) وساهم في تحنيطها وتلميع صورتها أدباء زنادقة أفسدوا الذوق وبلّدوا الإحساس من أمثال بلزاك (Balzac) وزولا (Zola) اللذين أغرقا في سطحية «العلموية» و«الواقعية»[١٥٢] فكأنما الساعة أزفت فلا نجاة إلّا «بروحانية إيمانية»[١٥٣] من شروطها تقزيم العلمي، وإشاعة «ثقافة القصور الإنساني» على نحو ما تبين عنه الاسمانية والظاهرية والخبرية حين تتنزّل جميعها في سياق لاهوتي وثوقي.

وليس من غريب الصدف، في إطار تلك الظروف الفكرية الغالبة ـ أن تحوّل وجهة مقالة بوانكاريه المتصلة بتكافؤ «فرضيتي» بطليموس وكوبرنيك، لتكون شاهدة على إثم غاليلي وبراءة

---

(١٤٩) المصدر نفسه، ص ١٥٥.

(١٥٠) المصدر نفسه، ص ١٥٨.

(١٥١) المصدر نفسه، ص ١٥٩.

(١٥٢) المصدر نفسه، ص ١٥٩.

(١٥٣) حتى ولو بلغت حدّاً لا يرضي بعض علماء الدين المعتدلين أو الكنيسة نفسها كما جرى ذلك مع لو روا (Le Roy).

الكنيسة حتى ولو احتج صاحبها على هذا «الاغتصاب» وتبرأ منه[١٥٤].

وهل ينفع التبرؤ من قولٍ إذا قيل؟ وهل ينفع «التحفظ» و«الاستثناء» و«الاعتدال» إذا كان الأصل في العلم، كما أسلفنا أنه مجرد «فرضية» وأن مبادئه ليست إلا «اصطلاحات» أو «تعريفات» «صريحة» أو «مقنّعة»؟ أليس معيار فصل المقال في ما بين الفرضيتين من الاتصال أو الانفصال إنما هو «الثمرة» العملية التي يمكن أن تجنى من هذه ومن تلك؟ مثل تفسير حركة النجوم والكواكب اليومية، وتسطح الأرض عند قطبيها، وتجربة فوكو، واتجاه دوران الزوابع، وظاهرة الرياح الصابيات...[١٥٥]. وما وضع «حركة الأرض» في هذا السياق الاسماني، إلا تأكيد ارتباط تلك الظواهر بعضها ببعض، في إطار «علاقة حميمة تظل صحيحة على الرغم من عدم وجود حركة مطلقة ومن استحالة وجودها»[١٥٦]. ولما كانت مقالة كوبرنيك «الأجدى» كانت «الأصلح» بصرف النظر نهائياً عن إشكال «الحقيقة» ومعرفة ما تجري عليه الأشياء فعلاً لا افتراضاً.

لذلك كان لنا أن نذهب إلى أن الاختيار «الخبْري» ـ الظاهري ـ الاسماني»، إنما هو ـ من ناحية أولى ـ اختيار الزهد في المعرفة الإنسانية تبعاً لاختيار القول «بالقصور الإنساني» كما هو الشأن عند دوهام (P. Duhem) ولو روا (Le Roy) وفي «الاسمانية الإيمانية» عامّة، قديمها وحديثها، و هو ـ من ناحية ثانية ـ اختيار «الواقعية الفجة» تلك التي ترد الوجود برمته إلى ظاهر محسوس أقصى ما نبلغه منه أن نشد عناصره صلب علاقات رياضية هي «قوانين»

---

(١٥٤) كان بوانكاريه بالفعل واضحاً في رفض التأويل اللاعلمي لمقالته. انظر:
Poincaré, *La Valeur de la science*, p. 271.

(١٥٥) المصدر نفسه، ص ٢٧٢.

(١٥٦) المصدر نفسه، ص ٢٧٣.

وليست «عللاً» كما هو الشأن عند ماخ (Mach) وستالو (Stallo)[١٥٧] وكونت (Comte) والتيار «الوضعي الجديد» الذي لم يتخلف عن احتضان رؤى بوانكاريه ودوهام وماخ، احتضاناً مباشراً أو غير مباشر، وجزئياً أو كلياً[١٥٨].

هما اختياران أهونهما فاسد، ذلك أن «الوضعية» (Positivisme) ـ على ما فيها أحياناً كثيرة من دقة في تحديد المفاهيم صورياً، ومن صرامة في الاستدلالات، ومن تقنيات عالية في بسط المعارف الجاهزة ـ لا يمكنها أن تكون الفلسفة التي تلائم العلم، موضوعاً ومنهجاً ومقصداً، بل هي تفضي إما إلى «إيمانية» وثوقية هي المدخل إلى «حديث خرافة»[١٥٩] أو واقعية ساذجة لا تختلف عن كهانة «سطيح» إلا بالأعراض الزائلة[١٦٠]. وهي في كلتا الحالتين أقرب ما تكون إلى «نفي

---

(١٥٧) هي مدرسة فكرية برمتها نشير هنا إلى بعض أعلامها القريبي العهد من بوانكاريه:
J. B. Stallo, *La Matière et la physique moderne*, 3ème ed., bibliothéque scientifique internationale; 68 (Paris: F. Alcan, 1899); Federigo Enrique, *Les Concepts fondamentaux de la science, leur signification réelle et leur acquisition psychologique*, traduit par Louis Rougier (Paris: Flammarion, 1913), et Karl Pearson: *The Grammar of Science*, 3rd ed. (London: A. and C. black, 1911).

ولمزيد التوسع في هذه المسائل يمكن مراجعة:
A. Rey, *La Théorie physique chez les physiciens contemporains* (Paris: F. Alcan, 1907).

(١٥٨) Larry Laudan, *Science and Hypothesis: Historical Essays on Scientific Methodology* (Dordrecht; Boston, MA: D. Reidel; Hingham, MA: Kluwer Boston, 1981); Anastasios Brenner, *Duhem science, réalité et apparence: La Relation entre philosophie et histoire dans l'œuvre de Pierre Duhem*, Mathesis (Paris: Vrin, 1990), et Norwood Russel Hanson, *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science* ([Cambridge, MA]: Cambridge Univesity Press, 1958).

(١٥٩) في حديث «خرافة» انظر: حسن سعيد الكرمي، **قول على قول** (بيروت: دار لبنان للطباعة والنشر، ١٩٨٦)، ج ٣، ص ٩٩-١٠١.

(١٦٠) في شأن سطيح ذاك الذي كان «يطوى طي الحصير» انظر: أبو الفضل محمد بن مكرم بن منظور، **لسان العرب**، نسقه وعلق عليه ووضع فهارسه علي شيري، ١٨ مج (بيروت: دار إحياء التراث العربي، ١٩٨٨)، مادة سطح.

العلم»[١٦١] أو «التخلي عنه»[١٦٢] إقراراً إما «بقصور الإنسان» عن النفاذ عقلياً إلى الحقيقة الموكولة إلى «الحق» وحده وإما «لانعدامها» أصلاً فهي ليست إلا من تلبيسات الخيال «الميتافيزيقي» الذي رشح «الوضعيون» أنفسهم لاستئصاله من العلم.

والحق أن بوانكاريه لم يكن من هؤلاء ولا من أولئك. وهو ما نلمسه في موقفه من لو روا (Le Roy) وفي تجاهله شبه التام لدوهام (Duhem) وفي تحفظه من الريبية والوثوقية والاسمانية، فضلاً عن «الوضعية» الكونتية[١٦٣]. ومن هذه الجهة فهو «أقل الناس تمذهباً»[١٦٤] وربما أشدهم تمسكاً بالروح النقدي حتى «المغالاة» فيه[١٦٥].

ثالثاً: إمكان موضوعية العلم والأمل الرشدي الكوبرنيكي

١ ـ من أزمة العلم إلى تحولات العلم

غير أنّه ليس ثمّة مع ذلك ما يشهد سلفاً لتطابق ذلك الوعي الذاتي مع الإنجاز الفكري الموضوعي عند بوانكاريه، وليس ثمّة ما يبرئه سلفاً من إثم الوقوع تحت سيطرة رؤى ذلك الاختيار «الخبري ـ الظاهري ـ الاسماني» الغالب على عصره. ومع ذلك فإن أهمّ ما

---

(١٦١) ذلك ما قاله جوزيف برتراند (Joseph Bertrand) معلقاً على مقالة أوزياندار (Osiander) التي ذكرناها. انظر:
J. Bertrand, *Les Fondateurs de l'astronomie* (Paris: J. Hetzel, [s.d.]), p. 51.

(١٦٢) «Les Origines de la science moderne,» dans: Alexandre Koyré, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, bibliothéque des idées (Paris: Gallimard, 1973), p. 81.

(١٦٣) لا يكاد بوانكاريه - على ما يبدو لنا من خلال أهم نصوصه الفلسفية - يذكر وضعية كونت إلا ما ندر.

(١٦٤) Jean Ulmo, *La Pensée scientifique moderne* (Paris: Flammarion, 1969), p. 107.

(١٦٥) «Henri Poincaré et les théories de la physique,» p. 51.

يميزه عما سواه وعن لو روا (Le Roy) ودوهام (Duhem) بالخصوص، أنه كان أشدّ الناس وعياً بحدّة «تأزم» العلم في عصره، وأكثرهم انقطاعاً لإنقاذه، ولا سيما أنه تعالت النداءات «بتهافت الفيزياء الكلاسيكية»(١٦٦) كما قيل بعد بوانكاريه أو «بتهافت العقل» و«إفلاس العلم» كما قيل في عهده»(١٦٧).

ذلك ما نلمسه في مختلف تقييمات «الأوضاع العلمية» سنة ١٩٠٠ بمناسبة «المعرض العالمي» بباريس. فقد كتب إ. بيكار (E. Picard) مثلاً أنه يكفي أن نقارن ما كانت عليه «مبادئ العلوم» في نظر جيل رواد الحداثة العلمية والفلسفية الأوائل، من أمثال ديكارت ونيوتن ولابلاس ولاغرانج الذين اعتبروها مبادئ يقينية متينة تتحدى الزمن، بما أصبحت عليه تلك المبادئ نفسها في أواخر القرن التاسع عشر من وهن، لنعترف أنها تواجه «أشد المصاعب»(١٦٨).

وطبيعي أن تلزم عن تخلخل مبادئ العلم «بلبلة في العقول»(١٦٩) و«فوضى علميّة»(١٧٠) فسّر لوسيان بوانكاريه (L. Poincaré) استشراءها بتلاشي تلك «النظريات الكونية العظمى المسلم بها والتي تجمّع حولها في وفاق تام جميع أهل

---

(١٦٦) A. Eddington, *La Nature du monde physique* (Paris: Payot, 1929), Chap. 1.

(١٦٧) في معاني أزمة العلوم الرياضية والميكانيكية والفيزيائية عند بوانكاريه انظر:

Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, pp. 24, 94, 96, 139, 144 et 217; *Dernières pensées*, pp. 165-167, et *La Valeur de la science*, pp. 171, 175, 181 et 209.

وعبارة «إفلاس العلم» بالصفحة ١٧٣ من العلم والفرضية *(La Science et l'hypothèse)*.

(١٦٨) E. Picard, *Quelques réflexions sur le mécanisme, suivies d'une première leçon de dynamique* (Paris: Gauthier-Villars, 1902), p. 1.

(١٦٩) Wicherscheimer, *Les Principes de la mécanique*, pp. 5-6.

(١٧٠) Gustave Le Bon, *L'Evolution des forces*, bibliothèque de philosophie scientifique (Paris: Flammarion, 1908), p. 4.

التجربة»، أمّا وقد انحلّ ما كان معقوداً فإن شكلاً من أشكال الفوضى استبد بمجال علوم الطبيعة، فإذا كل ضروب الجرأة متاحة، فما من قانون يؤخذ على أنه صارم الضرورة (...) بل إن مبادئ الميكانيكا ذاتها مشكوك فيها. وقد زعزعت وقائع حديثة العهد معتقداتنا المتّصلة بالقيمة المطلقة للقوانين التي عدّت حتى الآن قوانين أساسية»[١٧١].

ولعل في هذا التشخيص - على إيجازه -[١٧٢] ما يشير إلى عمق تلك «الأزمة» وشموليتها، إذ امتد مفعولها إلى كل مفاهيم العلم، ولا سيما تلك التي قام عليها العلم الميكانيكي، فخر العقلانية الحديثة منذ عهد غاليلي وهايغنس (Huygens) وديكارت بالخصوص. ولما كان العلم الميكانيكي إنما قوامه بمفاهيم المادة والحركة والمكان والزمان والقوّة، كان الشك في استقامتها أكثر مما في سواها. فهل المادة مثلا «موجودة»[١٧٣] أم أننا نشهد «اندثارها ونهايتها»[١٧٤]؟.

لذلك كان الشك في العلوم مقروناً بالشكّ في العقلانية «والمذهب الميكانيكي» (Mécanisme) و«الذرية» معاً[١٧٥]، ولا سيما أن الخصومة بين الطاقويين (Energétistes) والميكانيكيين (Mécanistes)،لم تفتأ تحتد منذ ظهور عمل كارنو S. Carno في

---

(١٧١) أورده لي بون في المصدر نفسه، ص ٦.

(١٧٢) نستأذن القارئ الكريم في إحالته - للتوسع في هذه المسألة - على:
Hamadi Ben Jaballah, *La Formation du concept de force dans la physique moderne: Contribution à une épistémologie historique*, série 6 - philosophie; v. 14, 2 vols. (Tunis: Publication de la Faculté des Science Humaine et Sociales de Tunis, Alpha Editions, 2000), Vol. 1, pp. 16 - 35.

(١٧٣) L. Houllevigue, *L'Evolution des sciences* (Paris: A. Colin, 1910), pp. 63 - 90.

(١٧٤) Pierre de Heen, *La Matière, sa naissance, sa vie, sa fin* (Bruxelles: Imprimeur, 1905), chap. 5.

(١٧٥) P. Courbet, *La Faillite du matérialisme*, 2ème éd. (Paris: Librairie B. blond, 1902), p. 6.

«القوّة المحركة النارية»[(١٧٦)] سنة ١٨٢٤ وبداية اشتغال فوريي على قوانين انتشارها، حتى هجومات أوستفالد الشهيرة على «الميكانيكي» و«المادي» و«الذري» في جميع المجالات، بدءاً بالفيزياء حتى «علم الحضارة»[(١٧٧)].

وهكذا ندرك إدراكاً أفضل، أهم محدّدات موقف بوانكاريه في خضم هذه الأزمة العامّة. فقد انصرف إلى تعزيز مكاسب الفيزياء النيوتونية، وترسيخ فتوحات علم القوى الحرارية، كما انقطع إلى إصلاح إبداعات لورانتس وتوضيحها ونشر مكتشفات ماكسويل، في غير خروج عن مبادئ الميكانيكا الكلاسيكية، ولا عن العقلانية العلمية الحديثة.

غير أنه ما كان ليتهيأ له ذلك، إلا باعتماد تمشّ لا يلزم باتخاذ موقف «ميكانيكي» يقوم على القول «بالذرة» و «الحركات اللاّمرئية» أو «القوى المركزية» بل كان يكفي في ذلك كله مجرد «فرضيات» تمكن من صياغة القوانين رياضياً. «فالأزمة» كانت في تقديره حادّة إلى درجة جعلته يتساءل لا عمّا إذا كان ينبغي تغيير «المعادلات التفاضلية» للديناميكا فحسب، بل عمّا إذا ما زال بإمكاننا صياغة قوانين الحركة في معادلات «تفاضلية»[(١٧٨)]، ولا سيما بعد اكتشاف الراديوم[(١٧٩)] وبدايات الميكانيكا الكوانطية[(١٨٠)] وإنجازات بولتزمان (Boltzmann) في نظرية الغازات[(١٨١)] الإحصائية.

---

(١٧٦) Sadi Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (Paris: Vrin, 1978).

(١٧٧) W. Ostwald: *L'énergie*, traduit de l'allemand par E. Philipini (Paris: F. Alcan, 1911), et *Les Fondements énergétiques de la science de la civilisation*, traduit par E. Philipini (Paris: F. Alcan, 1910).

(١٧٨) Poincaré, *Dernière pensées*, p. 166.

(١٧٩) Poincaré, *Science et méthode*, pp. 4, et 215-230.

(١٨٠) Poincaré, *Dernière pensées*, pp. 163-192.

(١٨١) Poincaré, *La Science et l'hypothèse*.

لذلك بدا لصاحبنا أنّ إنقاذ العلم مما آل إليه في نظر الكثير من معاصريه من «إفلاس» و«فوضى»، إنما يكون بتوسط رده إلى نظام فرضي لا تثقله «الجزئيات» ولا «الحركات الخفية» أو «الذرات التخيلية»، إلى غير ذلك ممّا كانت توجبه العقلانية الكلاسيكية ولا سيما في شكلها الديكارتي والنيوتوني. ولئن كان للفيزيائي أن يتحدث في ذلك فعلى سبيل «المجازات»[١٨٢] التي ليس لها - بصفتها اللغوية تلك - أن تدعي «نفاذاً إلى سرّ الكون»[١٨٣] بل الواجب فيها أن «تُترجم»[١٨٤] إلى معادلات هي في آخر تحليل كل العلم. فما نظرية ماكسويل إلا «معادلات ماكسويل» وما «القوة» إلاّ الحرف f، في معادلة نيوتن الشهيرة» $f = m\,\partial$، وما خلا ذلك «فميتافيزيقا » فانية هي ضرب من القول «للعنصر الشخصي فيه حصة الأسد»[١٨٥].

كان بوانكاريه يقول: «أصبت أمس الحقيقة، وما أنا اليوم على خطأ»[١٨٦]. ولو كان الأمر كذلك، فما مشروعية التضحية بموضوعية العلم لفائدة ضرب من اليقين يطالب بتوسط تحويل مضامينه إلى «مبادئ» هي «فرضيات» و«اصطلاحات» و«تعريفات» صريحة أو ضمنية تشهد لاستقامتها نجاعتها العملية وصلاحيتها (Validité) المنطقية، في غير اكتراث بما يمكن أن تكون «الحقيقة»؟ أليس من أسباب فشل بوانكاريه في الارتقاء إلى النسبية (Relativité) تعلقه بنسبوية لعلها أقرب

---

(١٨٢) المصدر نفسه، ص ١٧٤ و١٧٦.

(١٨٣) المصدر نفسه، ص ٢١٧.

(١٨٤) في أن العلم «ترجمة» انظر خاصة: Poincaré, *La Valeur de la science*, chap. 10.

وانظر كذلك: Anne François Schmid, *Une Philosophie de savant Henri Poincaré et la logique mathématique* (Paris: Maspero, 1978).

(١٨٥) Schmid, *Une Philosophy de Savant: Henri Poincaré et la logique mathématique*, p. 225.

(١٨٦) Poincaré, Ibid., p. 207.

ما تكون إلى نسبوية (Relativisme) بروتاغوراس (Protagoras)[١٨٧]؟ ثمّ أليست «اصطلاحيته» التي قادته إلى أخذ «الذرة» على أنها مجرد «فرضية مريحة»[١٨٨] هي التي قعدت به عن تدبر مرارة نضال بولتزمان (Boltzmann) من أجل «الذرة» وهو يحقق شبه وحيد الانتصار تلو الانتصار في النظرية الحركية للغازات[١٨٩] من ناحية، وبلورة تصورات جديدة لمفاهيم الميكانيكا الكلاسيكية من ناحية أخرى[١٩٠]؟

كان بوانكاريه على حق في تحصين العلم ليقيه هجمات «لا عقلانية» متربصة انتعشت «بمصاعبه» وتمعيشت منها، إذ حوّلتها من «مظاهر نمو» بشرت على الدوام بإنجاز تقدم حاسم[١٩١] إلى «مظاهر مرضية» حسبتها «إعلان إفلاس» وطمعت في أن تزداد به «كيل بعير».

ولكن بوانكاريه لم يوفق في ما طلب «السوء الفلسفة»[١٩٢] التي واجه بها «علماً متأزماً» فضاع عليه موعد مع التاريخ تلقفه

---

(١٨٧) هي مقارنة قام بها أحد المدافعين عنه. انظر: Tannery, *Science et philosophie*, p. 72.

(١٨٨) انظر مراسلاته الأولى عن الفرض.

(١٨٩) في صراع بولتزمان ضدّ «الطاقويين» «والتيارات «الاسمانية» و«الظاهرية» و«الخبرية» التي استبدت بالعلم في أواخر القرن التاسع عشر، انظر:

Ludwig Boltzmann, *Theoretical Physics and Philosophical Problems: Selected Writings*, Edited by Brian Mc Guinness, Vienna Circle Collection; v. 5 (Dordrecht; Boston: D. Reidel, 1974), pp. 54 - 56.

(١٩٠) «The law of Inertia,» in: Ibid., pp. 261-265.

(١٩١) ذلك موقف بوانكاريه من كل شيء تقريباً. فوجود «العالم» أو «الواقع» انما هو مجرد «فرضية مريحة» مثله في ذلك مثل الكائنات الرياضية أو المبادىء الفكرية. وفي ما يتعلق بالذرة تحديداً فإنه «فرضية مريحة» كما قال بذلك الكثير من العلماء في عهد بوانكاريه. انظر في ذلك:

Arthur Hannequin, *Essai critique sur l'hypothèse des atomes dans la science contemporaine* (Paris: F. Alcan, 1899).

(١٩٢) Broglie, *Savants et découverts*, pp. 51 - 52, et Ulmo, *La Pensée scientifique moderne*, p. 168.

غيره. ولعلّ ما يشهد لما ذهبنا إليه ما نشهده عند بوانكاريه في مواضع حاسمة من كتاباته من أسلوب السائد «المعتاد»[١٩٣]، حفظاً للثروة الجاهزة، فضاعت عليه ثورة هي من أعتى ما شهدت الإنسانية منذ بدايات العصر الحديث.

٢ ـ ضحايا الاسمانية

والحق أن لنا أن نذهب إلى أبعد مما ذهبنا إليه حتى الآن. ذلك أن هذه «الفلسفة السيئة» بمحدداتها الخبرية والظاهرية والاسمانية لم تكسر حديد بوانكاريه وحده، بل إنها جنت كذلك على ماخ (Mach) وميكلسون (Michelson)، عَلَمين تعطّفا مثله العلم، فلم تعوزهما به حذاقة، ولكنهما ظلا من نسبية انشتاين لا خلاً ولا خمراً.

لقد كان انشتاين يعتبر ماخ ممن أثروا في تكوينه الفكري تأثيراً بالغاً[١٩٤]، ويجد في ما وجّهه من نقد معمق للميكانيكا النيوتونية ولا سيما لشواهدها التجريبية، ما هيأه لقبول «النسبية العامة، أي نسبية التسارعات» وللتمييز بين «الكتلة العاطلة» و«الكتلة الثقيلة»[١٩٥] لذلك عدهُ «رائد النسبية».

---

(١٩٣) طغت بالفعل على بوانكاريه النزعة المحافظة. انظر:
Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 76, 94, 107 - 108, 137 et 174 - 175.
من حق العلماء أن ينكروا الفلسفة وأن يتحارسوا من الميتافيزيقا ولكنهم لا يمارسون ذلك الحق إلا بإخفاء فلسفة أو ميتافيزيقا «عفوية» أو«لا شعورية» كما يقول كانط. وهم في أغلب الأحيان ـ ولا سيما في الوطن العربي ـ يتبنون الفلسفة اللاشعورية السائدة أي الايديولوجيا الغالبة. في تلك الفلسفة اللاشعورية، انظر:
Immanuel Kant, *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*, traduit par Gibelin (Paris: Vrin, 1971), pp. 7 - 23.

(١٩٤) انظر في ذلك رسالته إلى بيسو بتاريخ ٦ كانون الثاني/ يناير ١٩٤٨، المصدر نفسه، ص ٢٣١: «أما فيما يتعلّق بتأثير ماخ على تطوري الفكري، فلا ريب أنه كان تأثيراً عظيماً جداً. وانظر كذلك رسالته إلى الشخص ذاته بتاريخ ٦ آذار/ مارس ١٩٥٢، ص ٢٧٢.

(١٩٥) ذلك ما ذهب إليه انشتاين إجمالاً سنة ١٩١٦. انظر في ذلك:
= R. Bouvier, *La Pensée d'Ernest Mach* (Paris: Libraire au Velin d'or, 1923), p. 76;

غير أن ماخ يرفض تلك النظرية رفضاً لا رجعة فيه ويتبرأ منها براءته من «الذرية»، القديم منها والحديث، كما أفصح عن ذلك في افتتاحية كتابه الموسوم بـ **مبادئ البصريات** حيث أكّد «أن الواجب يملي عليه عدم التسليم بأنه رائد القائلين بالنسبية»(١٩٦) وذلك لاعتبارات متصلة بفزيولوجيا الحواس، وبما انتهى إليه مما قام به من تجارب، ولما له من «شكوك ابستيمولوجية» في كتابات انشتاين(١٩٧).

ولعل أهم تلك الشكوك أن النسبية نظرية «وثوقية»(١٩٨)، بمعنى أنها لا تستند إلى «خبرية» قدّر ماخ أنها الأصل في العلم مبتدأ ومنتهىً، فصرفته خبريته عنها، وربما عن العلم برمته، كما يؤكد ذلك انشتاين نفسه إذ هو لم يدرك أن العلم «تنظير» فلئن هو «رفض بإصرار نظريَة النسبية» فلأنها - في تقديره - «تجاوزت في التنظير كل ما هو مسموح به»(١٩٩) فأبان بذلك أنه «لم يكن يعلم أن هذه الصبغة النظرية قائمة كذلك في ميكانيكا نيوتن - وبوجه عام - في كل نظرية يمكن تصوّرها»(٢٠٠).

وذلك هو موضع الفراق بينهما، إذ انحاز ماخ إلى المغرس الخبري الذي كان اتخذه أصلاً للمعرفة عامة والعلوم خاصة منذ

Marie-Antoinette Tonnelat, *Histoire du principe de relativité,* nouvelle bibliothéque = scientifique (Paris: Flammarion, 1971), p. 121; Gerald James Holton: *L'Imagination scientifique* (Paris: Gallimard, 1981), pp. 171 - 173, et «L'Influence précoce de Mach à Einstein,» dans: *Science et Synthèse* (Paris: Gallimard, 1967), pp. 101 - 123.

(١٩٦) انظر نص تلك الافتتاحية في: Holton, «L'Influence précoce de Mach à Einstein,» pp. 112 - 113.

(١٩٧) المصدر نفسه، ص ١١٣. وانظر: Tonnelat, Ibid., p. 122.

(١٩٨) Holton, Ibid., p. 113.

(١٩٩) انظر رسالة انشتاين إلى بيسو بتاريخ ٦ كانون الثاني/يناير ١٩٤٨ في المصدر نفسه، ص ٢٣١.

(٢٠٠) المصدر نفسه.

أن وضع مؤلفه الشهير الموسوم بـ **تحليل الأحاسيس**(٢٠١) في حين انحاز انشتاين إلى المغرس **العقلاني** الذي قاده إلى تحويل فكرة النسبية إلى مبدأ كوني موضوعي. وهو ما يؤكده في إحدى رسائله التي يفصح فيها عن القطيعة الابستيمولوجية العميقة مع خبرية غالبة استهوته في شبابه، هي أقرب ما تكون من تلك التي «كان يقول بها ماخ، إلا أن مسألة الجاذبية حولته إلى عقلاني راسخ في عقلانيته»(٢٠٢).

وليس علينا ها هنا تتبع مراحل ذلك التحول ولا الوقوف على آليات تلك القطيعة الابستيمولوجية(٢٠٣) التي أعادت للواقع صلابته، وللعقل صولته ومدت للعلم في انتصاراته، بالارتقاء بفكرة النسبية من نسبوية معرّضة لشكوك التجربة، إلى قانون موضوعي تتنزل في سياقه جميع التجارب الممكنة(٢٠٤).

لم تكن مأساة ماخ أو بوانكاريه ناجمة عن قصور علمي بل عن سوء اختيار فلسفي(٢٠٥) تمنع محدداته «الخبرية - الظاهرية - الاسمانية» الارتقاء إلى ما يوجبه العلم بالذات من عقلانية

---

(٢٠١) Bouvier, *La Pensée d'Ernest Mach*, pp. 107-132; et A. Rey, *La Théorie physique chez les physiciens contemporains* (Paris: F. Alcan, 1907), livre 2, chap. 2, et «E. Mach's Opposition to Atomism,» in Laudan, *Science and Hypothesis: Historical Essays on Scientific Methodology*, chap. 13.

(٢٠٢) رسالة انشتاين إلى لانكزوس (C. Lanczos) بتاريخ ٢٤ كانون الثاني/يناير ١٩٣٨، أوردها في: Holton, *Science et Synthèse*, p. 131.

(٢٠٣) المصدر نفسه، ص ١١٠-١٢٣.

(٢٠٤) جاء في رسالة انشتاين إلى بيسو بتاريخ آذار/مارس ١٩١٤ والعلماء ينتظرون كسوفاً شمسياً توقعته النسبية للتأكد من صحتها ما يلي: "لقد أصبحت الآن راضياً كل الرضى ولم أعد أشكّ البتة في صحّة النسق النظري برمته سواء حالفنا التوفيق في رصد الكسوف الشمسي أو لم يحالفنا، فمنطق الأشياء أصبح على غاية من البداهة". انظر: المصدر نفسه، ص ٣٢.

(٢٠٥) أسر انشتاين إلى مايارسون (Meyrson) أن ماخ عالم جيد في الميكانيكا «ولكنه فيلسوف بائس». انظر: المصدر نفسه، ص ١١٣.

موضوعية، فإذا هي نسيج من الأخطاء العنيدة والصوارف العتيدة المتداعية بالآخذين بها إلى درك الفشل. وليس اظهر لذلك من موقف ميكلسون (Michelson)[(٢٠٦)] أو برغسون[(٢٠٧)] من نسبية المعاصرين مما لا ينفع فيه ايجاز يقتضيه هذا الموضع لا محالة.

وممّا لا ريب فيه أن جل المفكرين، علماء وفلاسفة ومجتهدين، قالوا - في مرحلة ما من مراحل اقتناص الحقيقة الموضوعية - بوجوب توخي منهج الاستدلال الفرضي الاستنباطي... ونحن نجد ذلك عند القدامى مثل أفلاطون[(٢٠٨)] وأرسطو[(٢٠٩)] أو عند الوسيطيين مثل ابن سينا[(٢١٠)]، والفخر الرازي[(٢١١)] أو

---

(٢٠٦) أسف ميكلسون غاية الأسف لاستخدام تجربته الشهيرة في وضع نظرية النسبية التي اعتبرها "مسخاً" لا يليق بعالم. انظر في ذلك: المصدر نفسه، ص ١١٤.

(٢٠٧) وضع برغسون سنة ١٩٢٢ مؤلفه الشهير Henri Louis Bergson, *Durée et simultanéité, à propos de la théorie d'Enstein* (Paris: F. Alcan, 1922). ليبين من منطلق التجربة النفسية المعيشة تهافت نظرية انشتاين. انظر أهم ما جاء في الحوار الذي دار بين الرجلين في الجلسة التي عقدتها الجمعية الفلسفية الفرنسية يوم ٦ نيسان/ أبريل ١٩٢٢ وذلك في: Henri Louis Bergson, *Ecrits et paroles*, textes rassemblés par R. M. Messé-Bastide (Paris: Presses universitaires de France, 1959), vol. 3, pp. 497 - 502.

وقد بيّن انشتاين مراراً عديدة أن السبب الحقيقي لرفض برغسون للنسبية يتمثل في انشداده إلى مقالة الزمن الذاتي بما هو «ديمومة حقيقية» ورذ الزمن الفيزيائي إلى مجرّد «فرضية» أو فكرة تخيّلية «متصنعة»، انظر في ذلك رسالتي انشتاين إلى بيسو بتاريخ ٢٤ كانون الأول/ديسمبر ١٩٥١ و ٢٣ تموز/يوليو ١٩٥٢، المصدر نفسه، ص ٢٦٧ و٢٧٦.

(٢٠٨) Platon: *La République*, 533 b-d et 510 b 15, et *Parménide*, 136 a.

(٢٠٩) Aristote, *Métaphysique*, A, 9, 990 et b 1-5.

(٢١٠) ابن سينا: **الاشارات والتنبيهات**، صححه وحققه سليمان دنيا (القاهرة: دار إحياء الكتب العربية، ١٩٤٨)، ج ٢، ص ١٣٢، و **الشفاء، الطبيعيات، السماع الطبيعي**، تحقيق سعد زايد (القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٨٣)، ص ١٣.

(٢١١) فخر الدين محمد بن عمر الرازي، **المباحث المشرقية في علم الإلهيات والطبيعيات** (طهران: مكتبة الأسدي، ١٩٦٦)، ص ٢١١-٢١٥.

المحدثين مثل ديكارت[٢١٢] أو نيوتن[٢١٣] أو لايبنتز[٢١٤] ولوك (Locke)[٢١٥] فضلاً عما هو متعالم من دقائق كلود برنار (Claude Bernard)[٢١٦] وروائع هوسرل (Husserl)[٢١٧] وكانط[٢١٨].

والأقرب إلى الحق كذلك أن اللفظ العربي «فرضية» السائد اليوم استعماله[٢١٩] إنما جرى لمعانٍ لا تختلف في جوهرها عن تلك التي جرى إليها اللفظ الاغريقي (Hupothesis) أو اللاتيني (Hypothesis) أو ما اشتق منهما في الألمانية (Hypothesis)، وهي

---

(٢١٢) René Descartes: *La Dioptrique*, AT, VI, discours premier, et *Les Principes*, AT, IX, troisième partie, ch 4 - ch 18, pp. 104-109.

(٢١٣) Alexandre Koyré, *Etudes newtoniennes. A vertissement d'Yvon Belaval*, bibliothéque des idées (Paris: Gallimard, 1968), pp. 5-84.

(٢١٤) Gottfried Leibniz, *Nouveaux essais sur l'entendement humain* (Paris: Garnier-Flammarion, 1966).

(٢١٥) John Locke, *Essai philosophie concernant l'entendement humain* (Paris: Vrin, 1889), livre 4, chap. 12, pp. 12-13 et 539-541.

(٢١٦) Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (Paris: Garnier-Flammarion, 1971), part 1, chap. 2, pp. 65-93, part 3, chap. 1, pp. 213-239.

(٢١٧) Edmund Husserl, *Idées directrices pour une phénoménologie*, traduit par Paul Ricoeur (Paris: Gallimard, 1950), pp. 103, 110, et 114.

(٢١٨) Kant: *Critique de la raison pure*, pp. 524-530; *Critique of Pure Reason*, pp. 658-665 ; *Logique*, traduit par Guillermit (Paris: Vrin, 1970), pp. 95-96, et *Critique de faculté de juger*, traduit par Gibelin (Paris: Vrin, 1968), pp. 210, 268 et 270.

(٢١٩) لم نعثر في المعاجم العربية القديمة مثل ابن منظور، **لسان العرب**؛ أبو الحسين أحمد بن زكريا، **معجم مقاييس اللغة**، تحقيق وضبط عبد السلام محمد هارون، ٦ ج (القاهرة: دار إحياء الكتب العربية، ١٩٤٦-١٩٥١)؛ اسماعيل بن حماد الجوهري، **الصحاح، تاج اللغة وصحاح العربية**؛ أبو الحسن علي بن اسماعيل ابن سيده، **المخصص**، وأبو الحسين أحمد بن زكريا بن فارس، **المجمل في اللغة**، على لفظ فرضية على جهة الاشتقاق من مادة ف.ر.ض. ويبدو أن هذا اللفظ الذي أصبح اليوم شائعاً من ابتداع التهانوي. انظر: أشرف علي التهانوي، **كشاف اصطلاحات العلوم** (بيروت: دار صادر، ١٨٦١)، مج ٣، ص ١١٢٣-١١٢٧.

معانٍ تفيد «الجَعْل»[٢٢٠] أو «التخيل» أو «التعمّل» أو «الوضع» أو «الأخذ» وحتى «الظن» و«الوهم» و«الحدس» و«الخمن» و«التقدير» و«الحسبان»، على ما تدور عليه تلك «الألفاظ» من اختلاف لا يمنع التقاءها عند بؤرة دلالية متجانسة المكونات تتراوح بين «العلم» و«اللاعلم» و«اليقين» و«اللايقين» بحسب المقاصد والسّياقات، وبين الحكم على ظاهر الأشياء على جهة «التشكك» و«الاشتراط» و«الحذر» وما يصحب ذلك من تردد ينتفي معه «القطع» و«الجزم» و«التأكيد» وحتّى «الميل» و«الترجيح». فلا يبقى الا ما يستفاد من «قد» و«عسى» و«ربما»، وبين الحكم عليها على معنى «التقييد»، و«التحديد» و«التأثير» فيها حتى «الحز» و«تغيير المجرى» بما يكون لها «شرعة» عليها اتباعها و«واجباً» عليها الخضوع له[٢٢١]. ذلك أن «الفرضية (Hypothèse) بما هي مقالة ابتدائية، إنما توضع لإعداد المقالة (thèse) ونقيض المقالة (anti-thèse)، لذلك كانت بداية العلم ومنطلقه الأدنى ولكنها ليست العلم ذاته[٢٢٢].

وهكذا أمكن أن تكون الفرضية قضية أو حكماً أو جملة ذات مآلين. فإما أن تجري على معنى «الحكم الخبري» بما هو وصف للأشياء على نحو ما تبدو عليه في ظاهر أمرها، من دون أن

---

(٢٢٠) أبو بكر عبد القاهر بن عبد الرحمن الجرجاني، **دلائل الإعجاز في علم المعاني** (صيدا؛ بيروت: المكتبة العصرية، ٢٠٠٠)، ص ٤٠٥-٤٠٧.

(٢٢١) من مادة ف.ر.ض. اشتق الفرض والفرائض على معنى "السنن" و"القوانين". انظر في ذلك وفي الفرق بين الواجب والفرض: أبو حامد الغزالي، **المستصفى من علم الأصول** (بولاق: [د.ن.، ١٩٠٤])، ج ١، ص ٢٨؛ أبو اسحق ابراهيم بن موسى الشاطبي، **الموافقات في أصول الشريعة** (بيروت: دار المعرفة، [د.ت.])، مج ١، ص ١٣٣-١٣٤، ومحمد الخضري، **أصول الفقه** (سوسة، تونس: [د.ن.]، ١٩٨٩)، ص ٤٠-٤١.

(٢٢٢) في العلاقة بين "المقالة الأولية" والمقالة ونقيض المقالة، انظر:
Alexandre Kojève, *Essai d'une histoire raisonnée de la philosophie païnne* (Paris: **Gallimard**, 1967), tome 1, pp. 58-63.

يتجاوز مستوى الشهود للحس. وإما أن تجري إلى معنى «الحكم التجريبي»[(٢٢٣)] بما هو قول يخترق الظاهر من دون أن يلغيه لينفذ إلى كنه ما هو به ظاهرة. فالظاهر **منطلق** للظاهرة، و**الوصف** خطوة في اتجاه **التفسير**.

لذلك كانت الفرضية تهيئ لما سماه الكندي «قنية علم الأشياء بحقائقها»[(٢٢٤)] وهي استعداد لتلك «القنية» قبل إنجازها، وذلك معنى أوليتها وضرورتها في الإنشاء العلمي. فكأنما هي «حكم مسبق» (Pré-juger) يعد للحكم (juger) ذاته، ذلك أن الفكر لا يقبل على الأشياء ولا يلتفت إليها إلا بقبلياته الصريحة أو الضمنية، والواعية أو اللاواعية[(٢٢٥)]. **فالفرضية علم قبل العلم منطقياً وزمانياً**، فهي بالتالي مدعوة لفتح أبواب الأمل لا لتكريس الفشل، على ما نلمس ذلك عند ابن رشد وكوبرنيك.

٣ ـ الأمل الرشدي ـ الكوبرنيكي

لعل أخطر ما يواجهه السؤال الابستيمولوجي، إنما هو أشكال

---

(٢٢٣) للتعمق في التمييز بين الحكم الحسي أو "الحكم الادراك الحسي" والحكم التجريبي انظر: Immanuel Kant: *Prolégomènes à toute métaphysique future*, trad. Gibelin (Paris : Vrin, 1974), pp. 18 et 66-67, et «Prolegomena to every Future Metaphysics that May Be Presentend as a Science,» in: Immanual Kant, *I. Kant's Moral and Political writings*, Translated by Carl J. Frederick (New York: The Moderns Library, 1993), pp. 18 and 77-78.

(٢٢٤) انظر كتاب الكندي إلى المعتصم بالله في الفلسفة الأولى في: محمد عبد الرحمن مرحبا، **الكندي، فلسفته، منتخبات** (بيروت؛ باريس: دار عويدات، ١٩٨٥)، ص ١٤٠. وقد سعينا إلى الوقوف على بعض معانيها الابستيمولوجية والتاريخية في عمل نستأذن القارئ في الإشارة إليه: حمادي بن جاء بالله، **مساءلة الزمن المطلق في المقاربة الابستيمولوجية التاريخية** (تونس: مركز النشر الجامعي، ٢٠٠١)، ص ٢٤٠-٢٤٣.

(٢٢٥) لعل أعمق ما في كتاب العلم والفرضية هذا التمييز الذي قام به بوانكاريه. انظر: Poincaré, *La Science et l'hypothèse*, pp. 24, 166, 215, 227 et 236...

ذلك الانتقال من «الأحكام الخبرية» إلى «الأحكام التجريبية»، ومن الظاهر بما هو الماثل للحس، إلى الظاهرة بما هي بناء نظري فيه يتحقق التقاء الذاتي العقلي بالخارجي المادي، عند نقطة التحام الإنسان بالوجود، حين يفتح ما نغلق منه، وينفذ يسيراً يسيراً إلى ما تحجّب فيه، يتوسّل له ولا يتوسّل عنده، فلا يكون عالمنا حلماً، ولا علمنا وهماً. وإنما الوهم أن نطلب عند سواه ما لا يستطيع هو أن يقدمه إلينا(٢٢٦).

وإذا ما نزّلنا ذلك السؤال الابستيمولوجي في سياق تاريخ العلم تبين لنا لِمَ كانت «الخبرية ـ الظاهرية ـ الاسمانية» فلسفة الفشل يعد للدجل. فأما أنها فلسفة الفشل فذلك ما يشهد به تاريخ «علم الفلك» بالخصوص حين لم يستطع الملاءمة بين قبليات «الطبيعيات» أو الفيزياء، ومعطيات أرصاد «الهيئة». فالأولى تقضي بأن حركات «الأفلاك» السماوية، إنما تكون ضرورة على الاستدارة والانتظام واللاتناهي في حين تقف «الملاحظة» على «تحيّر» مثل ذاك الذي نلمسه عيانياً في حركة «الزهرة» مما لا يتلاءم بيسر لا مع «مركزية الأرض» ولا مع خصائص الحركات السماوية الهندسية (استدارة المسار) والميكانيكية (انتظام السرعة). فكيف لنا «بإنقاذ الظواهر» أي تعقل ما يجري في «عالم ما فوق القمر» استناداً إلى ما يجري في «عالم ما تحت القمر»؟ كيف لنا بعلم «العلويات» بمقتضى ما نعلم ـ أو ما نعتقد أننا نعلم ـ من شأن «السفليات»؟

وقد حملت عبارة «إنقاذ الظواهر» أو roxein ta phainomena كما قالت اليونان أو salvare apparentias كما قالت أوروبا اللاتينية المسيحية على معنيين متضادين، موضوعي يطلب المعرفة

(٢٢٦) Sigmund Freud, *L'Avenir d'une illusion*, traduit par M. Boraparte (Paris: Presses universitaires de France, 1971), p. 80.

بالحقيقة، واسماني ظاهري يقف عند ما مثل للحس[٢٢٧] تنظمه «تعاليمياً» أي «رياضياً». وقد شهد التاريخ ثلاثة أشكال من ذلك «التنظيم» أو «الترتيب»[٢٢٨]، هي شكل افلاك التدوير، وشكل الدوائر الخارجة عن المركز، وشكل المسارات اللولبية[٢٢٩]، وكلها أشكال متكافئة لا تتفاضل إلا براغماتياً، وهو ما يوجب ضرورة قطعها عن أصولها الفيزيائية واعتبارها ـ تبعاً لذلك ـ مجرّد فرضيات ليس لها أن تدعى وصلاً بالواقع أو بالحقيقة اللذين أصبح النفاذ إليهما في إطار اللاهوت اليهودي والمسيحي والاسلامي لا يتأتّى إلا بسلطان «شرعي»، تطلب قيامه سلطة معرفية، هي امتداد لنظم التسلط السياسي، ذلك أن التخلي عن العلم والزهد في الحقيقة لا بد أن يشفعا عاجلاً أو آجلاً بالحرمان من الحرية. ولا غرابة عندها أن تحتقر «الطبيعيات»

---

(٢٢٧) انظر هذا التضاد بين الموقفين اللذين يمكن أيضاً ـ ولا مشاحة في الألفاظ ـ تسميتهما «بالواقعي» (Réaliste) والظاهري (Phénoméniste): Koyré : *La Révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, pp. 84-85, et «Les Étapes de la pensée cosmologique,» dans: *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, pp. 87-98, et Duhem : *Essai sur la notion de théorie physique de Platon à Galilée*, et *Le Système du monde* (Paris: Hermann, 1973), tome 1.

(٢٢٨) ما عرف في العلم العربي باسم **المجسطي** لبطليموس هو كتاب *Megala mathematike tis astronomia* ومعناه «الترتيب» الرياضي الكبير في علم الفلك. وقد سماه العرب اختصاراً وإعجاباً بالمجسطي أي الأثر العظيم. فهو عندهم «دستور الصناعة وصاحبه إمام أهلها» كما يقول: أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني، **القانون المسعودي في الهيئة والنجوم** (حيدر آباد الدكن: دائرة المعارف النظامية، ١٩٥٤-١٩٥٦)، ص ٢٤-٢٥، وأبو علي محمد بن الحسن بن الهيثم، **الشكوك على بطليموس**، تحقيق عبد الحميد صبرة ونبيل الشهابي؛ تصدير ابراهيم مدكور (القاهرة: مطبعة دار الكتب، ١٩٧١)، ص ٤-٥. ولفظ «الترتيب» هو اللفظ الذي استعمله البيروني بدقة لا مزيد عليها لتعريب كلمة «سونطاكسيس»، في المصدر المذكور، ص ٢٥.

(٢٢٩) انظر في ذلك: أبو الوليد محمد بن أحمد بن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، تحقيق الأب بويج (بيروت: دار المشرق، ١٩٩٠)، ج ٣. التعليم ٤٥ c وخاصة ص ١٦٥٨-١٦٦٢، ٣٠-٥ b ١٠٧٣، ٨، ١، *Métaphysique* , Aristote.

ويكفّر «الطبيعيون»[٢٣٠] وأن ينفي «العقل» برد مبدأ «السببية» إلى مجرد «عادة» على ما جرت عليه الأدبيات الريبية منذ سكتوس امبيريقوس (Sextus Empiricus)[٢٣١] حتى روبرفال (Roberval)[٢٣٢] وهيوم (Hume) من المحدثين ودوهام ولو روا (Le Roy) من المعاصرين، على ما بينهم جميعاً من تباين الأسباب واختلاف المقاصد.

وما دعا إلى مزيد تعميق هذا الفصل بين العلم والواقع من ناحية، وبين «الطبيعيات» و«الهيئة» أو قل مثل الوسيطيين بين «العلم الطبيعي» و«صناعة النجوم التعاليمية»[٢٣٣]، من ناحية أخرى، أن «علم الهيئة» مضطر إلى الانطلاق في وصف الظواهر السماوية مما هو متعارف بين أهل الصناعة من معطيات، لا لكونها أصابت الحقيقة التي تكسبها «إقناعاً» يرضي العقل، بل لأنها معطيات وكفى، وهي على كل حال أفضل من لا شيء. وإن لم يكن بها «إقناع» فإن فيها «منفعة»[٢٣٤] تتمثل في أن تمد الفكر بعدد ما من

---

(٢٣٠) قريب من ذاك ما جاء في آخر فصل من: أبو حامد الغزالي، **الاقتصاد في الاعتقاد** (بيروت: دار الكتب العلمية، ١٩٨٨)، ص ١٥٧. وأقرب منه ما جاء في: "أصناف الفلاسفة واتصاف كافتهم بالكفر،" في: أبو حامد الغزالي، **المنقذ من الضلال** (بيروت: دار الكتب العلمية، ١٩٩٤)، ص ٣٥-٣٦. انظر آخر فصول هذا الكتاب خاصة ص ٧٨-٨٠ من الطبعة المذكورة أعلاه. وفي ما يتعلق بالمسيحية انظر في الموضوع نفسه إدانة ١٢٧٢ التي أصدرها تامبييه (Tempier) أسقف باريس بإذن من البابا، في: **Duhem**, *Le Système du monde*, tome 6, chap. 1.

(٢٣١) **Sextus Empiricus**, *Esquisses pyrrhoniennes*, introduction, traduction par P. Pellegrin (Paris: Seuil, 1977).

(٢٣٢) «Descartes, Roberval: Rationalisme, empirisme,» dans: Jabalah, *La Formation du concept de force dans la physique moderne: Contribution à une épistémologie historique*, vol. 2, pp. 117-131.

(٢٣٣) انظر ابن رشد: **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٣٦، ١٤٠، ١٤١ و١٤٢؛ **الآثار العلوية** (بيروت: دار الفكر اللبناني، ١٩٩٤)، والبيروني، **القانون المسعودي في الهيئة والنجوم**، المقالة الأولى، الباب الأول.

(٢٣٤) ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٦٥٨.

الحركات «يعمل عليه عند الفحص عن حقيقته فإنه أفضل من ألاّ يكون عنده عدد أصلاً»(٢٣٥).

ولئن كان الانطلاق من «المشهور» المتعالم بين أهل الصناعة من ضرورات البحث فلأن «إحصاء مقادير حركات الكواكب شيء لا يفي بإدراكه العمر الإنساني فلا بد في الأرصاد أن يقلد الآتي الماضي»(٢٣٦)، وبالتالي كان لا بد أن تحل «المشهورات» من المقدّمات محل «اليقينيات»(٢٣٧) منها، وأن يكون هذا العلم بالتالي ظاهرياً. وكانت الحكمة العملية تقضي بأن «يكون لنا علم بما قاله الناس في ذلك أفضل من ألا يكون عندنا علم بذلك»، تماماً كما ذهب إلى ذلك ابن رشد وبوانكاريه نفسه حين وضع «تقريبية» القانون العلمي و«احتماليته» و«تبدله» بتوفر معطيات أدق أو مقدّمات أفضل على أن يظل «التطبيق» مدار القول بصحته أو خطئه وبساطة الاستخدام معيار تحديد تفوقه عن بقية الفرضيات المنافسة له(٢٣٨).

ولئن لم يغرق بوانكاريه كما غرق الكثير من معاصريه في ما يمكن أن تفضي إليه هذه الظاهرية النفعية من دجل عقدي يلبّس «الانفاع» بـ «الحقائق» كما يقول الكندي في أهل زمانه من «الغرباء» عن الحق(٢٣٩) فقد يكون الفضل في ذلك لاعتدال ريبيته من ناحية أولى، ولقطاعيتها من ناحية ثانية(٢٤٠) ولدفاعه عن العلم ضد مداخل «اللاعقلانية» المتفشية ـ نظرياً وعملياً ـ في عصره من ناحية ثالثة.

---

(٢٣٥) المصدر نفسه، ص ١٦٥٩.

(٢٣٦) المصدر نفسه.

(٢٣٧) المصدر نفسه.

(٢٣٨) Poincaré: *La Science et l'hypothèse*, pp. 195 et 213, et *La Valeur de la science*, pp. 248 - 250.

(٢٣٩) انظر: مرحبا، الكندي، فلسفته، منتخبات، ص ١٤٠.

(٢٤٠) مما يعيبه بوانكاريه على «الاسمانية» مثلاً أنها «تعمم» ما تجده في علم ما إلى بقية العلوم. انظر: Poincaré : *La Science et l'hypothèse*, pp. 24 - 25, 124, et 153, et *La Valeur de la science*, pp. 213 - 214.

ولنؤكّد مجدّداً أنه ما كان لذلك «الاعتدال» ولا لذلك الاحتراس من التعميم حيث يجب التفريق، ولا لتلك الإرادة المدافعة عن العلم، أن تقيه شرّ الوقوع في مهاوي الفشل وإن هي وقته إغراء مخاتل الدجل. فقد كان بوانكاريه مهموماً بترميم شروخ الأنموذج النيوتوني أكثر ممّا كان منشغلاً بمواعد مستقبل النسبية التي وضع هو نفسه أركانها الوثيقة، والأقرب إلى الظن الصادق ـ على الأقل ـ أن تلك «الفلسفة الفاسدة» التي اتخذها عدة في نضاله البطولي المستميت، قد تحولت بين يديه ـ في غفلة منه ـ إلى موقف نظري نهائي شده إلى تلك «الخبرية ـ الظاهرية ـ الاسمانية» في حين أن الواجب فيها أن تكون مجرد مدخل إلى العلم، ومسلكاً تقتحمه لنتجاوزه كما هو شأنها عند غاليلي(٢٤١) وديكارت(٢٤٢) ومن قبلهما ابن الهيثم وابن رشد والبطروجي... على ما بين علم القدامى والوسيطيين ـ إغريقاً وعرباً وأوروبيين ـ وعلم المحدثين ورثة الثورة الكوبرنيكية، من فوارق نوعية عميقة ـ موضوعات ومناهج ونتائج ـ هي محددات الثورة العلمية الحديثة التي أنهت العصر الوسيط ـ مضموناً علمياً، وروحاً فلسفياً، وتوجهاً لاهوتياً ـ وأبدعت الحداثة التي نعيشها اليوم بما لها وما عليها. وما أكثر ما عليها عندنا بحكم قعودنا عن الفوز بأسباب القوّة فيها!

ولعلّ الأخطر من ذلك أننا ما زلنا في غفلة عن المواضع الفعلية التي فيها ـ ابستيمولوجياً وتاريخياً ـ تباشير العقلانية الحديثة

---

(٢٤١) W. A. Wallace, «The Problem of Causality in Galileo Science,» *Revue of Metaphysics* (1982-1983), and R. Naylor, «Galileo, Real Experiment and Didactic Demonstration,» *ISIS*, vol. 67, no. 238 (1976).

(٢٤٢) انظر بالخصوص الجزء الثالث من «مبادئ الفلسفة» حيث يبدو ديكارت قائلاً بتكافؤ فرضيات بطليموس وكوبرنيك وبراهي (T. Brahe) على جهة المدخل المنهجي للعلم الفلكي، أما موقفه فهو كوبرنيكي منهجاً ومحتوى وإن كان ذلك على طريقته الخاصة، انظر: Hamadi Ben Jaballah, «Descartes Coperniciens?,» *Laval Théologique et philosophique*, no. 53 (3 octobre 1997), pp. 617-637.

عندنا. وكان ذلك يوم وضع ابن الهيثم شكوكه على الفلك البطليموسي، ليبين محدودية المقاربة العلمية الظاهرية الاسمانية، وما تلتئم عليه من تناقض بين العلم والواقع من ناحية، وفي صلب العلم ذاته من ناحية أخرى، وما تفضي إليه إرادة تجاوز ذلك التناقض من «تكلف» رياضي تتراكب فيه الدوائر على الدوائر في تعقد لا ينتهي «لإنقاذ» حركة بسيطة بالطبع من حركات الأجرام السماوية[٢٤٣] «وإذ قد تبيّن جميع ذلك، فقد تبيّن أن بطليموس، عجز عن تقرير هيئات حركات الكواكب التي قرّرها في كتاب المجسطي»[٢٤٤]، فوجب البحث عن بديل له[٢٤٥]، لا ريب أن ابن الهيثم لم يبحث عنه في اتجاه «مركزية الشمس» كما سيفعل كوبرنيك بل في اتجاه أرسطي ـ بطليموسي، قدّر أنه كفيل بحل شكوكه «من غير أن ينتقض شيء من الأصول ولا يتغيّر»[٢٤٦]، ولا سيما تلك المتعلقة بتحرك الأجرام السماوية على «التشاكل» (Uniformité) والاستدارة على نحو ما يقتضيه «العلم الطبيعي»، والمعرفة بالحقيقة لا بالاسم.

وإلى مثل ذلك ذهب الأمل الرشدي. فلئن كان الفلكي «التعاليمي» مضطراً ـ بحكم محدودية الإنسان فرداً ـ إلى الانطلاق

---

(٢٤٣) ابن الهيثم، **الشكوك على بطليموس**، ص ٤-٥، ١٦، ١٩-٢٠، ٢٣-٢٤، ٢٦-٢٨ و٢٧: «فهذه المواضع التي ذكرناها هي المواضع المتناقضة التي وجدناها في كتاب **المجسطي**. ومنها ما هو معذور فيه، ومنها ما ليس له فيها عذر ...» ومثال الصنف الثاني أنه ليس من عذر لبطليموس في «فرضه هيئات باطلة لا يصح وجودها»، ص ٣٨ والفرضية الباطلة عند ابن الهيثم هي تلك التي لا تتلاءم مع «مركزية الأرض» وانتظام الحركات السماوية واستدارتها بالحقيقة. للتوسع انظر: «Les Théories planétaires en astronomie arabe après le XIè siècle,» dans: G. Saliba, ***Histoire des sciences arabes***, sous la direction de Roshdi Rashed, 3 vols. (Paris: Seuil, 1997), vol. 1: *Astronomie théorique et appliqué*.

(٢٤٤) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ٦٤.

(٢٤٥) Saliba, Ibid., p. 97.

(٢٤٦) ابن الهيثم، المصدر نفسه، ص ٥.

من «المشهورات» دون «اليقينيات»، فإن ابن رشد لم يحول **ذلك الاضطرار** العملي إلى ضرورة **نظرية**، تؤول إلى اليأس من الحقيقة والتخلي عنها، إما لاعتقاد انعدامها كما هو الشأن في الاسمانية العلموية (ماخ مثلاً) وإما لاعتقاد خروجها عن مستطاع الإنسان كما هو الشأن في الاسمانية الإيمانية (الغزالي، دوهام، لو روا ... (Le Roy)) فما يمتنع عن الفرد لا يمتنع عن الإنسانية، وما لا يمكن في مرحلة ما بما تتيحه من إمكانيات الإنتاج العلمي، لا يصبح محالاً في مجرى التاريخ.

لذلك لم ينكر ابن رشد ما للعلم الفرضي الاستنباطي من مزية عملية بالنظر إلى حاجة الإنسان. ولكن تلك المزية المنفعية لا ترتقي به إلى مرتبة العلم الحقيقي بما هو علم بالحقيقة وإن كان دائماً «أفضل من ألاّ يكون عندنا علم»[٢٤٧] أصلاً. فوجب بالتّالي أن يكون التقابل بين «صناعة النجوم التعاليمية»[٢٤٨] و«علم الطبائع»[٢٤٩] أمراً مؤقتاً تكره عليه الحاجة العملية والقصور الزائل، حتى قيام علم موحّد صحيح «على الأصول الطبيعية»[٢٥٠] تماماً كما فعل كوبرنيك وغاليلي[٢٥١] يوم بيّنا إمكان توحيد الميكانيكا السماوية والميكانيكا الأرضية بإخضاعهما إلى قانون واحد لا يمكن بحال رده إلى مجرد فرضية.

ولئن لم يهشم ابن رشد البلوريات السماوية ولم يتجاوز عالم الكيفيات الأربع، الحرارة والبرودة والرطوبة واليبوسة ولا الثقل

---

(٢٤٧) ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٦٥٩.

(٢٤٨) أبو الوليد محمد بن أحمد بن رشد، **رسالة ما بعد الطبيعة**، تقديم وضبط وتعليق رفيق العجم وجيرار جهامي، رسائل ابن رشد الفلسفية؛ ٦ (بيروت: دار الفكر اللبناني، ١٩٩٤)، ص ١٤٢، أو «العلم التعاليمي النجومي» ص ١٤١.

(٢٤٩) المصدر نفسه، ص ١٤٠، أو "العلم الطبيعي"، ص ١٣٦.

(٢٥٠) ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٦٦٣ .

(٢٥١) **Ben Jaballah**, *La Formation du concept de force*, vol. 1, pp. 43-59.

والخفة، ولا التقابل بين «الأثيري» و«العنصري» أو قل بين «عالم الكون والفساد» و«العالم الأزلي»[٢٥٢]، فإنه لم يكن راضياً عما في علم الفلك الظاهري في زمانه من تناقض مع ما يقتضيه العقل من قول ببساطة تمشي الطبيعة. فدوائر الفلكيين كثيرة[٢٥٣] في حين أن الاقتصاد يقضي بأن ما يمكن «أن تفعله الطبائع بآلة واحدة لا تفعله بآلتين»[٢٥٤]، ذلك أن معقولية الوجود الطبيعي تلزم بالقول بأن «الطبيعة لا تفعل فضلاً»[٢٥٥].

وينضاف إلى ذلك التناقض الأول تناقض ثان وهو أن «صناعة النجوم التعاليمية» القائمة، سواء انتهجت منهج أفلاك التدوير، أو منهج الدوائر الخارجة عن المركز، أو منهج الحركة اللولبية، لا تستقيم إلا بمحضور «تبين امتناعهُ في العلم الطبيعي»[٢٥٦] وهي أنها تفترض باطلاً أن الأجرام السماوية تدور على أكثر من مركز كوني[٢٥٧]

---

(٢٥٢) انظر ابن رشد، **الآثار العلوية**، ص ٢٤، ٢٧، و٩٤...

(٢٥٣) أحصى ابن رشد منها «ثمان وثلاثين: خمس للكواكب الثلاثة العلوية، أعني زحل والمشتري والمريخ، وخمس للقمر، وثمان لعطارد، وسبع للزهرة وواحدة للشمس». انظر: ابن رشد، **رسالة ما بعد الطبيعة**، ص ١٤٢. وهي أكثر من ذلك عند آخرين، انظر: نصير الدين الطوسي، **زبدة الادراك في هيئة الأفلاك** (الاسكندرية: دار المعرفة الجامعية، [د.ت.])، و Aristote, *Métaphysique*, 1, 8, 1074 a 5.

(٢٥٤) ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٦٦١.

(٢٥٥) يضيف ابن رشد مؤكداً المبدأ الاقتصادي «إن الطبيعة إذا أمكنها أن تحرك شيئاً ما بآلات قليلة لم تحركه بآلات كثيرة». انظر: المصدر نفسه، ص ١٦٦٣.

(٢٥٦) المصدر نفسه، ص ١١٦١.

(٢٥٧) المصدر نفسه، ص ١٦٦١-١٦٦٢: «فالقول بفلك خارج المركز أو بفلك تدوير أمر خارج عن الطبع. أما فلك التدوير (épicycle) فغير ممكن أصلاً وذلك لأن الجسم الذي يتحرك على الاستدارة إنما يتحرك حول مركز الكل لا خارجاً (عنه)... فلو كان ها هنا مركز خارج عن هذا المركز فيكون هنالك أرض أخرى خارجة عن هذه الأرض (...) وكذلك يشبه أن يكون الأمر في الفلك الخارج المركز (Excentrique) الذي يضعه بطليموس وذلك بأنه لو كانت ها هنا مراكز كثيرة لكانت هاهنا أجسام ثقيلة خارجة عن موضع الأرض ولكان الوسط ليس بواحد».

في حين تقضي «أصول الطبيعيات» بأن تدور على «مركز واحد بعينه»[٢٥٨].

وعن التناقض بين «بساطة» العقلي وتعقد العلم من جهة وبين ما تقتضيه «الطبيعيات» **عقلاً** وما عليه «صناعة النجوم التعاليمية» **واقعاً** من جهة أخرى، ينشأ تنافر بين العلم والوجود، **يحدد** تدقيقاً موضع الاختيار الصعب. فإما الاكتفاء بالمنافع ورد العلم إلى فرضيات والاكتفاء من الوجود بظاهره وهو الاختيار الذي مالت إليه الاسمانية عامة بما في ذلك تلك التي **تخيّرها** بوانكاريه ولو في تحفظ، وإمّا أن نصِرّ على إمكان طلب **الحقيقة** والظفر ببنية الوجود وهو الاختيار الذي انحاز له ابن رشد، **ولو** على جهة الأمل الواعد.

والاختيار الأول لا يستقيم من دون تضحية - **قد تلتوي** سبلها - بالعقل والإنسان باتهامهما «بالقصور» و«العجز» في حين **لا** يتأتى الاختيار الثاني إلا بإيمان بالعقل والإنسان إيماناً **يحوّل** **«الأزمات»** إلى مراحل «نمو» ويستعين على **«المصاعب الراهنة»** بمواعيد المستقبل، وعلى عجز الإنسان في محدودية **وجوده** باستطاعة الإنسانية[٢٥٩] في مجرى تجربتها التاريخية.

والأقرب إلى الحق أن ما يميز المنزعين إنما يتعلق **قبل كل** شيء بما يمكن أن يسمى علماً من ناحية أولى، ويما يمكن **أن** يكون الموقف من استطاعة العقل الإنساني من ناحية ثانية، **وبما**

---

(٢٥٨) المصدر نفسه.

(٢٥٩) لا نستبعد أن تكون مقالة «العقل الفعال» الرشدية في تمايزه وتعاليه عن العقل الفردي المنفعل تعبيراً عن التمايز بين الإنسان الفرد والإنسانية إلى حد ما لا بد من تبينه - اتقاء للخلط والتحديث الفاسد - مقارنة مقالة «العقل الفعال» من جهة مقاصدها بـ«العقل المطلق» الهيغلي مع ما يقتضيه إمكان ذلك من استبدال تراتب الملكات مكانياً بتالي تكونها زمانياً لتندرج نظرية العقل في التاريخ.

يمكن أن تكون منزلة الإنسان في الوجود وموقفه منه من ناحية ثالثة. ولعلّ انتصار الرشدية لإمكان علم الأشياء بحقائقها، ولقدرة العقل على تجاوز مصاعبه. وللإنسان مشرعاً مقتدراً بذاته، هي التي جعلته يرفض الفلك الظاهري الاسماني، برده إلى مجرد صناعة أو تقنية رياضية نافعة، لا شأن لها بالوجود ولا بما يقتضيه العلم من موضوعية(٢٦٠) مذكّراً في الوقت نفسه بأمل كان راوده في شبابه، أن يبني علماً فلكياً على «الأصول الطبيعة» (وحدة مركز العالم) والميكانيكية (انتظام سرعات الحركات السماوية) والهندسية (استدارة مسارات تلك الحركات). يقول أبو الوليد: «وقد كنت في شبابي أؤمل أن يتمّ لي ذلك الفحص. وأمّا في شيخوختي هذه فقد يئست من ذلك إذ عاقتني العوائق عن ذلك قبل ولكن لعل هذا القول منبهاً لفحص من يفحص بعد عن هذه الأشياء»(٢٦١).

ذلك الأمل نفسه هو الذي راود كوبرنيك وشدّ من عزمه فحقق الأمل الرشدي بنقل مركز الحركات السماوية إلى الشمس بدل الأرض، وسيلة وحيدة للحفاظ على مبدأ «بساطة التمشي الطبيعي»(٢٦٢) و«الاقتصاد» في مبادئ العلم(٢٦٣) في غير تضحية

---

(٢٦٠) يقيم ابن رشد علم الهيئة في عصره فيقول: «إن علم الهيئة في وقتنا هذا ليس منه شيء موجود وإنما الهيئة الموجودة في وقتنا هذا هي هيئة موافقة للحسبان لا للوجود». (خطوط التشديد مني). انظر: ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ص ١٦٦٤.

(٢٦١) المصدر نفسه، ص ١٦٦٤.

(٢٦٢) Copernic, *Des Révolutions des orbes célestes* , pp. 45-48.

(٢٦٣) المصدر نفسه. هل التزم فعلاً كوبرنيك مبدأ الاقتصاد الذي قال به ابن رشد مثلاً؟ أم أن الدوائر السماوية ازدادت عنده كثرة وتعقداً؟ لئن أحصى ابن رشد في هيئة عصره ثمانياً وثلاثين حركة، فإن كوبرنيك وصل بها إلى حوالى ٤٨ حركة بحسب الإحصاء الذي قام به كوستلار. انظر: Arthur Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, with an Introduction by Herbert Butterfield ([n.p.]: Penguin Books, 1964), pp. 195 and 580.

بموضوعيته[(٢٦٤)] ولا بمصادراته الهندسية والميكانيكية[(٢٦٥)] على ما فيها من أخطاء سيتجاوزها العلم انطلاقاً من الثورة الكوبرنيكية نفسها[(٢٦٦)]. ولئن كان من المهم أن لا يخطئ العالم في استدلالته وأن يكون دقيقاً ما استطاع في حساباته وقياساته[(٢٦٧)] فإن الأهم أن يتخذ العلم عنده الوجهة الصحيحة، ويتنزل مراسه في إطار رؤى ملائمة تدفعه إلى التقدم بدءاً بتجاوز ما قد يقع فيه من أخطاء.

وعند تلك الرؤى أو «المبادئ الموجهة» كما يقول كانط التقى كوبرنيك بابن رشد التقاء المستضعف الوحيد[(٢٦٨)] بالنصير القوي يستعديه على تقاليد علمية عاجزة، وفلسفة في العلم فاسدة، لا تكتفي باتهام الإنسان بالقصور بل تشرع له حتى تجعل منه فضيلة، بتوسط رد العلم إلى مجرد معرفة بالاسم هي عند الظاهريين أقصى ما يمكن أن يبلغه العقل. وقد كنا أشرنا إلى رفض كوبرنيك القاطع لمقدمة أوزياندر (Osiander) روحاً

---

(٢٦٤) Koyré, *La Révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, pp. 45-69.

(٢٦٥) المصدر نفسه، الفصل ٤، ص ٦٧-٧١.

(٢٦٦) إشارة إلى إنجازات كبلار (Kepler) اللاحقة ولاسيما تلك المتعلقة بإهليلجية المسارات السماوية في مقابل استدارتها وإلى إنجازات نيوتن التي ستبين أن سرعة الحركات السماوية ليست منتظمة أو "متساوية" بل هي متسارعة.

(٢٦٧) هل كانت مثلاً قياسات غاليلي صحيحة؟ وهل كانت نتائج تجاربه دقيقة وهل يمكن لها أن تكون كذلك؟ يؤكد غاليلي أن كرة حديدية تزن ١٠٠ رطل تنزل من ارتفاع ١٠٠ متر في خمس ثوان. فما هو وجه الدقة في ذلك؟ B. Cohen, *Les Origines de la physique moderne de Copernic à Newton* (Paris: Payot, 1960), p. 102; «Une expérience de mesure,» dans: Koyré, *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, pp. 289-319, et «Du même, du monde de l'«à-peu-près» à l'univers de la précision,» dans: Alexandre Koyré, *Etudes d'histoire de la pensée philosophique* (Paris: Gallimard, 1971), pp. 341-362.

(٢٦٨) في وحدة كوبرنيك ومرارتها، انظر:
Koestler, *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*, pp. 188-191.

ومضموناً[٢٦٩]، وهو موقف أشبه ما يكون بموقف ابن رشد من «علم الهيئة» في عصره.

ولعلّ خير ما يشهد لما ذهبنا إليه أن ريتيكوس (Rhéticus) ذكر عن أستاذه نفسه[٢٧٠] ذلك الموقف الرشدي دعماً لتوجهه الجديد وشداً لأزره في مواجهة الدنيا كلها[٢٧١]، وهو يتهيأ لتغيير العلم تغييراً جذرياً. فهو يعترف مثل ابن الهيثم والبيروني أن بطليموس «إمام أهل الصناعة» أو «ملكهم»[٢٧٢]، ولئن تجاسر عليه كوبرنيك ليزيله عن عرشه فإنه يقتدي بابن رشد الذي هو أيضاً عالم «لا يشق له غبار»[٢٧٣] كان قد انتهى إلى أن «أفلاك التدوير والدوائر الخارجة عن المركز لا يمكن أن توجد في الطبيعة، وإلى أن بطليموس لم يفقه لم وضع القدامى الحركة على الاستدارة»[٢٧٤] ثم يقول في الختام «إنّ فلك بطليموس لا يطابق الواقع بل هو مطابق للحسبان لا للوجود»[٢٧٥].

ولا ريب في أن علم كوبرنيك ليس علم ابن رشد ولكن فلسفتيهما متقاربتان على الأقل من جهة «المثل الموجهة» فهما

---

(٢٦٩) للتوسع في ذلك فلسفياً وتاريخياً انظر: «The Scandal of the Preface,» in: Koestler, Ibid., chap. 12, pp. 169-175.

(٢٧٠) يذكر كوبرنيك نفسه شكوك ابن رشد على العلم القديم في مصنفه المذكور، انظر: Copernic, *Des Révolutions des orbes Célestes*, p. 107.

(٢٧١) وهو ما نلمسه بالخصوص في الرسالة الموجهة إلى البابا بولس الثالث. انظر: المصدر نفسه، ص ٣٥-٤٩.

(٢٧٢) Georg Joachim Rhéticus, *Georgii Joachem Rhetici narratio prima,* Studia Copernicana; 20 (Paris: libraire scientifique A. Blanchard, 1975), p. 177.

(٢٧٣) المصدر نفسه، ص ١٧٧.

(٢٧٤) لعلها إشارة إلى ما ذكره ابن رشد عن القدامى في هذا السياق. انظر: ابن رشد، **تفسير ما بعد الطبيعة**، ج ٣، ص ١٦٦٣. «يجب أن نجعل الفحص من رأس هذه الهيئة القديمة فإنها الهيئة الصحيحة التي تصح على الأصول الطبيعية وهي مبنية عندي على حركة الفلك الواحد بعينه على مركز واحد بعينه».

(٢٧٥) Rhéticus, Ibid., p 177.

يلتقيان سلباً في رفض الاسمانية والظاهرية أو قل اختصاراً «الوضعية» بكل أشكالها. وهما يلتقيان إيجاباً في الإيمان بمستطاع العقل وقدرة الإنسان ـ فرداً أو جماعة ـ على النفاذ إلى حقائق الأشياء وبنية الوجود ولو يسيراً يسيراً في مجرى التجربة التاريخية.

ولا ريب ـ في مقابل ذلك ـ أن علم بوانكاريه هو ـ في خطوطه الغالبة على الأقل ـ علم انشتاين نفسه، ولكن فلسفتيهما مختلفتان حتى التناقض، فهي «خبرية ـ ظاهرية ـ اسمانية» عند الأول، وهي عقلانية عند الثاني. والأولى أفضت بصاحبها إلى الفشل إذ كذبت مسيرة العلم التاريخية جميع توقعاته وتجاوزت كل محظوراته. أما الثانية فقد أعانت صاحبها على تحقيق أهم الانتصارات المعاصرة كما أعانت كوبرنيك على تحقيق أهم شروط الحداثة العلمية والفلسفية.

ولعل في ما أسلفنا من تأمّلات ابستيمولوجية تاريخية ما يشير في جلاء إلى أنه حيثما غلبت تلك «الوضعية» (Positivisme) الإيمانية منها (الغزالي، دوهام...) أو العلموية (كونت، ماخ...) أو المترددة (بوانكاريه) كان الفشل بدرجات متفاوتة بحكم استيلاء مقالات «محدودية العقل» و«قصور الانسان» و«سطحية» العلم، وما يلزم عنها من زهد متعدّد الأشكال في الحقيقة واكتفاء بالمنفعة في المعاش أو المعاد.

ولنا في تلك التأملات أيضاً ما يشير إلى أنه حيثما وجد نفس عقلاني ولو في غلاف صوفي (كوبرنيك، كبلر...) فضلاً عن أشكاله الواعية (ابن رشد، غاليلي، ديكارت...) وجد العلم فيه من العوامل الحافزة ما يدفعه إلى تجاوز العوائق الصارفة عن الحقيقة تطلب لذاتها ولمنافعها. فلئن كانت كل حقيقة نافعة فليست كل منفعة حقيقة.

ولئن كانت تلك «الفلسفة السيئة» هي التي حددت موقف بوانكاريه «الانهزامي»(٢٧٦) فأنكر النسبية كما أنكرها ماخ، ودوهام، وبرغسون، فإننا لا نستبعد أن تكون تلك الفلسفة ذاتها بما تقوم عليه من خبرية ابستيمولوجية وظاهرية انطولوجية واسمانية فلسفية وراء فشل الفكر العربي في تفجير الثورة العلمية الحديثة وهو الذي أعد الكثير من أسبابها العلمية والبيداغوجية والفلسفية(٢٧٧). وليس أمرّ من نكبة ابن رشد إلا تناقضنا الراهن اذ ندعي لفظياً أبوة تلك الثورة ولكننا كثيراً ما ننكر العقلانية العلمية نفسها بأساليب شتى من أكثرها رواجاً الاسمانية الايمانية منزعاً شعبوياً يريد «مداهنة أهل زمانه»(٢٧٨) فإذا هو أبعد ما يكون «من خلق القاصدين لإظهار الحق»(٢٧٩).

ولسنا نزعم أن ذلك العنصر - على خطورته - كافٍ لتفسير فشلنا لا في تفجير الثورة العلمية فحسب، بل كذلك في الانتماء إلى العصر، رؤى نظرية واختيارات قيمية وإنجازات تقانية. فقد تعرض الفكر في أوروبا اللاتينية المسيحية يوم تعرب، إلى إهانة تامبيي (Tempier)(٢٨٠) ثم حرق برونو (Bruno) وسجن غاليلي،

---

(٢٧٦) Holton, *Science et synthèse*, p. 169.

(٢٧٧) نستأذن القارئ الكريم مرة أخرى في الإشارة إلى تطرقنا جزئياً إلى هذا الإشكال العام في: «Vitesse et force: Galilée, Ibn Baja et Beredetti,» dans: Ben Jaballah, *La Formation du concept de force dans la physique moderne: Contribution à une épistémologie historique*, vol. 1, chaps. 1 et 3, pp. 110-117.

بن جاء بالله، **مساءلة الزمن المطلق في المقاربة الابستيمولوجية التاريخية** (تونس: مركز النشر الجامعي، ٢٠٠١)، ج ٣، الفصلان ٢-٣.

(٢٧٨) أبو الوليد محمد بن أحمد بن رشد، **تهافت التهافت**، تقديم وضبط وتعليق محمد العريبي (بيروت: دار الفكر اللبناني، ١٩٩٣)، ج ١، ص ٩٧.

(٢٧٩) المصدر نفسه، ص ٩٨.

(٢٨٠) حمادي بن جاء بالله، دراسات فلسفية: **العلم في الفلسفة** (تونس: الدار التونسية للنشر، ١٩٨٥)، ص ١٣-٢٠.

وحوصرت الديكارتية في عقر دارها[٢٨١] وأكره حتى الأب غاسندي (Gassendi) على الصمت[٢٨٢] ... ولكن الفكر الأوروبي تغلّب دائماً على محنه وعرف كيف يستمد من عمق المأساة سبباً من أسباب النجاة، في حين أن الفكر العربي لم يزل يعيد إنتاج أسباب الفشل بما فيها تلك الرؤى الخبرية ابستيمولوجياً والظاهرية انطولوجياً والاسمانية فلسفياً، من دون أن يقدر في الغالب حتى على أن يجعل تلك المسائل تدور على موضوعاتها.

ولسنا نكابر في أن الفلسفة ـ حين لا تهمل ما يجب عليها من الحيطة لنفسها ـ لا تستطيع وحدها أن تجيب عن ذلك السؤال الذي طالما كلّت به نشدة الناشد، فوجب إذاً أن تلزم موضعها فهي لا تنتج المعرفة بل إن قصارى ما يمكن أن تطمح إليه إنما هو التمييز ابستيمولوجياً وتاريخياً معاً، بين ما يمكن أن تكون الصوارف عن الحقيقة بما هي إنتاج إنساني، وما يمكن أن تكون الدوافع إليها من ناحية أولى، وبين ما يمكن أن يقتضب العقل فيكسر صولته، وما يُمكن أن يقوم منه مقام المستحث الباطني يشد أزره من ناحية ثانية، وبين ما يمكن من ناحية ثالثة أن يصغّر من شأن الإنسان لينزل به إلى دركات القصور الذي لا تدارك له، وما يمكن أن يرتقي به ـ من دون أن يتوخّى مصانعته ـ إلى مصاف الكائن الحر المسؤول لا بمحددات خارجية عارضة، بل بالذات الواطدة الأصلية. وهل أصالة الوجود البشري إلا من الالتزام بالحقيقة والوفاء للحرية ؟

د. حمادي بن جاء بالله

---

(٢٨١) لتبين بعض وجوه سخف المنطق الذي حكم على ديكارت بما يشبه الغربة وبمنع تداول آثاره أو تعليمها. انظر:
Boileau, *Oeuvres 2, Epîtres, art poétique, oeuvres diverses* (Paris: Garnier-Flammarion, 1969), Arrêt Burlesque, pp. 223-226.

(٢٨٢) **John Stephenson Spink,** *French Free-Thought from Gassendi to Voltaire* (London: [n.pb.], 1959).

مقدمــة المؤلــف

[٢٣][*] يذهب الملاحظ المتسرّع إلى أن الحقيقة العلمية حقيقة لا يأتيها الشكّ وإلى أن منطق العلم معصوم من الخطأ، ولئن أخطأ العلماء أحيانا فلغفلتهم ـ في تقديره ـ عن قواعد ذلك المنطق.

فالحقائق الرياضيّة تُستمدّ من عدد يسير من القضايا البديهية بتوسط سلسلة من الاستدلالات الصارمة، وهي لا تفرض نفسها علينا نحن فحسب وإنما كذلك على الطبيعة ذاتها، بل قل إن شئت، على الخالق نفسه، إذ إنها لا تسمح له إلا بأن يختار بين عدد من الحلول القليلة نسبياً، ويكفي عندئذ القيام ببعض التجارب للتعرف على ما استقر عليه اختياره.

ويمكن بتوسط جملة من الاستنباطات أن تنجرّ عن كل تجربة مجموعة من النتائج الرياضية تتيح لنا كل واحدة منها ـ على هذا النحو ـ معرفة جزء من الكون.

ذلك هو أصل اليقين العلمي عند عامة الناس، مثل تلاميذ المعاهد الثانوية الذين يلقنون المبادئ الأولى في العلم الفيزيائي. وذلك هو نمط تصورهم لدور التجربة والرياضيات، وقد تصوره

(*) هذه الأرقام ترمز إلى أرقام الصفحات في النص الأصلي.

على ذلك النحو نفسه منذ مائة سنة خلت، كثير من العلماء، كان يراودهم الأمل في بناء العالم، مستمدين من التجربة أقل ما يمكن من المواد.

وعندما أُمعن النظر في ذلك الدور، كان إدراك المكانة التي تحتلها الفرضية، والتفطن إلى أنه لا غنى للرياضي بحال عنها، وإلى أن المجرب ليس في ذلك أوفر منه حظاً. عندها كان التساؤل
[٢٤] عما إذا كانت تلك البنى جيدة المتانة، وذهب الظن إلى أن نفخة واحدة تكفي لدكها. والريبية حين تكون بهذا الشكل هي أيضاً موقف سطحي، إذ إن الشك في كل شيء والتصديق بكل شيء، حلان مريحان بالتساوي يعفينا كل واحد منهما من التفكير.

لذلك كان لزاماً علينا ـ بدل الوقوف عند الإدانة الفجة ـ أن ننظر بعناية في دور الفرضية، وعندها لن نتعرف فحسب على أنه دور ضروري، بل كذلك على أنه في أغلب الأحيان مشروع. كما سنرى أن ثمة أنواعاً عديدة من الفرضيات يمكن التحقق منها، ومنها ما يمكن أن نستفيد منه في تثبيت أفكارنا، من دون أن يكون له أن يوقعنا في الخطأ، وأنه ثمة أخيراً فرضيات ما هي بالفرضيات إلا في ظاهر أمرها، إذ يمكن أن ترد إلى تعريفات أو اصطلاحات مقنّعة.

ويوجد هذا النوع الأخير من الفرضيات في الرياضيات خاصة، وفي العلوم ذات الصّلة بها، ومنها تستمدّ العلوم في حقيقة الأمر صرامتها. وهذه الاصطلاحات هي من إنتاج نشاط الفكر نشاطاً حرّاً، لا يوقفه عائق. فلفكرنا هاهنا أن يثبت، لأنه فكر مشرّع، لكن علينا أن نتفق على أن تلك التشريعات إنما تفرض نفسها على علمنا نحن إذ يكون بدونها محالاً، ولكنها لا تفرض نفسها على الطبيعة. ومع ذلك، هل تكون تلك التشريعات تحكّمية؟ وإذا ما كانت كذلك كانت حينئذ عقيمة. فالتجربة تترك لنا حريّة الاختيار، ولكنها ترشدنا إذ تعيننا على تبين أكثر السبل ملاءمة. لذلك كانت

تشريعاتنا أشبه ما تكون بتشريعات أمير مطلق السلطة، ولكنه أمير حكيم يستأنس بمجلس دولته.

وقد عجب البعض لخاصية الاصطلاح الحر هذه التي نتعرّف عليها في مستوى بعض المبادئ الأساسية التي تقوم عليها العلوم، فأرادوا تعميم ذلك، وغالوا فيه، ناسين في الوقت ذاته، أن الحرية ليست التحكّم، فانتهوا إلى ما سمّي بالاسمانية، وتساءلوا عما إذا لم يكن رجل العلم قد خدعته تعريفاته، وعما إذا لم يكن العالم [٢٥]
الذي يعتقد أنه يكتشفه مجرد عالم أنتجه هواه[١]. وعندئذ كان للعلم عندهم أن يكون يقينياً ولكن بلا موضوع.

ولو كان العلم كذلك لكان عاجزاً. إلاّ أننا نشهد سطوته كل يوم، وهو ما لم يكن ليتاح لو لم يكشف لنا عن الواقع في بعض جوانبه. بيد أن ما يمكنه بلوغه منه ليست الأشياء في ذاتها، كما يذهب إلى ذلك الوثوقيون السذج، بل العلاقات الرابطة بين الأشياء دون سواها، وليس ثمة خارج تلك العلاقات واقع تمكن معرفته.

تلك هي النتيجة التي سنصل إليها. ولبلوغ ذلك وجب علينا النظر في سلسلة العلوم بدءاً بالحساب والهندسة، وانتهاء إلى الميكانيكا والفيزياء التجريبية.

فما يمكن أن تكون طبيعة الاستدلال الرياضي؟ هل هو حقاً استنباطي كما يُظنّ عادة؟ إن التحليل المعمق يكشف لنا أن الأمر ليس كذلك أصلاً، وأنه إلى حد ما نوع من الاستدلال الاستقرائي الذي منه يستمد خصبه ويحتفظ مع ذلك بصرامته المطلقة. وذلك ما يجب علينا أن نبدأ ببيانه.

أما وقد عرفنا الآن إحدى الأدوات التي تضعها الرياضيات

---

(١) انظر: M. Le Roy, «Science et philosophie,» *Revue de métaphysique et de morale* (1901).

بين يدي الباحث، فإنه علينا أن نحلل مفهوماً أساسياً آخر هو مفهوم العظم الرياضي. فهل نجده نحن في الطبيعة أم أننا نقحمه فيها اقحاماً؟ ألا نجازف في هذه الحالة الأخيرة بأن نفسد كل شيء؟ فعندما نقارن معطيات الحس الخام، بهذا المفهوم اللطيف المعقد غاية التعقيد الذي تسميه الرياضيات عظماً، فإننا نجد أنفسنا مكرهين على الاعتراف بما بينهما من تباين، ذلك أن هذا الإطار الذي نريد أن نحشر فيه كل شيء، إنما هو من صنعنا لا عن
[٢٦] صدفة بل بتقدير دقيق. ولهذا السبب كان بإمكاننا أن ندخل فيه الوقائع دون أن نفسد ما فيها من خاصّيات أساسية.

وثمة إطار آخر نفرضه على العالم فرضاً. إنه المكان. فمن أين تأتي المبادئ الأولية للهندسة؟ أهي مبادئ فرضها علينا المنطق؟ عن ذلك أجاب لوباتشفسكي (Lobatchvesky) بالنفي سلفاً، عندما أنشأ الهندسات اللاإقليدية. فهل يتجلى لنا المكان عبر حواسنا؟ مرة أخرى نجيب عن ذلك سلباً، إذ إن المكان الذي يمكن لحواسنا أن تكشف لنا عنه يختلف كلياً عن المكان كما يراه المهندس. فهل الهندسة وليدة التجربة ؟ كلاّ فالفحص المعمّق، يكشف لنا عن غير ذلك. وهكذا سننتهي إلى أن تلك المبادئ ليست إلا اصطلاحات، إلا أنها ليست اصطلاحات تحكمية، ولو أننا نُقلنا إلى عالم آخر (أسميه لا إقليدياً وأتكلف تخيله) لكنّا مكرهين على تبنّي اصطلاحات أخرى.

وإذا ما انتقلنا إلى الميكانيكا انتهينا إلى نتائج مماثلة ورأينا أن مبادئ هذا العلم ـ رغم استنادها مباشرة أكثر من سواها إلى التجربة ـ تشترك هي أيضاً مع المصادرات الهندسية في خاصيتها الاصطلاحية. وهكذا يكون النصر حتى الآن للاسمانية. ولكننا سنصل إلى العلوم الفيزيائية بالمعنى الدقيق، وهاهنا يتغير المشهد، إذ سنلاقي ضرباً آخر من الفرضيات، ونلمس كل ما فيها من الخصب. ولا ريب أن النظريات ستبدو لنا من الوهلة الأولى

هشّة، وأن تاريخ العلم يبيّن لنا أنها نظريات فانية، غير أنها لا تموت مع ذلك كلياً، وأن بعض الشيء منها باق. وما يجب علينا تبينه إنما هو هذا الشيء الباقي، إذ ثمّة، وثمّة فقط، يكمن الواقع الحقيقي.

ومنهج العلوم الفيزيائية يستند إلى الاستقراء الذي شأنه أن يجعلنا ننتظر تكرّر ظاهرة ما، عندما تحدث مجدداً الشروط التي كانت نشأت في إطارها أوّل مرة. فإذا ما تهيأ لتلك الشروط جميعها أن تتجدد في وقت واحد، أمكن حينئذ استخدام ذلك المبدأ من دون خوف. إلا أن ذلك لن يحدث أبداً، لأن بعض تلك الشروط لا محالة لن تتوفر. وهل لنا أن نكون على يقين حينئذ، من أن تلك الشروط المفقودة لا أهمية لها؟ من البديهي أن يكون [٢٧] الجواب بالسلب، إذ قد يكون الأمر محتملاً، ولكنه لن يكون صارم اليقين. ومن ثمة كان الدور الخطر الذي يلعبه مفهوم الاحتمال في العلوم الفيزيائية. وبالتالي فإن حساب الاحتمالات ليس مجرد نشاط ترفيهي ولا هو مجرد مرشد للاعبي البكاراه، بل علينا أن نتكلّف تعميق النظر في أسسه. وما استطعت في هذا السياق إلا تقديم نتائج ظاهرة النقص، بحكم ما في هذه الغريزة القائمة فينا التي تجعلنا نستبين المحتمل، من استعصاء على التحليل.

وقد رأيت بعد درس الظروف التي يعمل فيها الفيزيائي، أنه لزام عليّ أن أصفه وهو يعمل. وقد ضربت لذلك أمثلة مستمدة من تاريخ البصريات وتاريخ الكهرباء. وسنرى من أي مغرس خرجت أفكار فرزنيل (Fresnel) وماكسويل (Maxwell)، وأيةَ فرضيات لا واعية، وضعها أمبير (Ampère) ومؤسّسو الكهروديناميكية الآخرون.

القســـم الأول

العــدد والعظــم

الفصل الأول

في طبيعة الاستدلال الرياضي

ـ ١ ـ

[٣١] إن مجرد إمكان العلم الرياضي يبدو تناقضاً لا حلّ له. فإن لم يكن ذلك العلم استنباطياً إلاّ في ظاهر أمره فمن أين له بهذه الصرامة التي لم يخطر ببال أحد أن يشك فيها ؟ وإذا أمكن ـ على العكس من ذلك ـ أن تستنبط جميع القضايا التي يطرحها هذا العلم باعتماد قواعد المنطق الصوري، بعضها من البعض الآخر، فكيف لا تردّ الرياضيات إلى مجال واسع من تحصيل الحاصل؟ لا يمكن للقياس المنطقي أن يعلمنا شيئاً جديداً بحق، وإذا لزم أن يُستمدّ كل شيء من مبدأ الهوية، لزم كذلك أن يُرد إليه كل شيء. وهل لنا أن نسلم إذًا بأن صياغة كل هذه المبرهنات التي تملأ الكثير من المجلدات ليست إلا أسلوباً ملتوياً للقول إن A هو A؟

لا ريب في إمكان العود إلى البديهيات التي عنها صدرت كل الاستدلالات. فإذا رأينا أنه لا يمكن ردّها إلى مبدأ عدم التناقض، وإذا لم نشأ كذلك اعتبارها وقائع تجريبية لا تعلّق لها بالضرورة الرياضية، فلنا زيادة عن ذلك إمكانية تصنيفها ضمن الأحكام التأليفية القبلية. غير أن ذلك لا يحل الإشكال بل هو يكرسه. وحتى لو لم يعد لحقيقة الأحكام التأليفية القبْلية، أي سرّ بالنسبة

إلينا، فإن التناقض لن يرفع بل ستتأخر مواجهته. ثم إن الاستدلال القياسي سيظل عاجزاً عن إضافة أي شيء إلى المعطيات التي [٣٢] وضعناها فيه والتي تردّ إلى بعض البديهيات، فليس لنا أن نجد في النتائج شيئاً سواها.

لا يمكن لأيّة مبرهنة أن تكون جديدة، ما لم يقحم في البرهنة عليها بديهية جديدة، كما لا يمكن للاستدلال أن يعيد إلينا إلا حقائق ذات بداهة مباشرة استمدت من الحدس المباشر، ولن يكون هو إلا وسيطاً دخيلاً. ألا يجدر بنا ـ عندئذ ـ أن نتساءل عمّا إذا لم يكن الجهاز القياسي برمته لا يصلح إلاّ لموارارة ما استعرناه؟

وسيزيد التناقض في استثارتنا، إذا ما فتحنا أي كتاب من كتب الرياضيات، حيث سنجد أن الكاتب يفصح في كل صفحة عن عزمه على تعميم قضية سبقت معرفتها. فهل يعني ذلك أن المنهج الرياضي ينطلق من الخاص إلى العام ؟ وأنّى لنا ـ عندئذ ـ أن نسميه منهجاً استنباطياً؟

وأخيراً، لو كان علم العدد علماً تحليلياً محضاً، أو قل لو أمكن أن يستمدّ تحليلياً من عدد ضئيل من الأحكام التركيبية لكان ـ على ما يبدو ـ بمستطاع فكر على درجة عالية من القوة أن يدرك ـ في أقلّ من لمح البصر ـ كل حقائق ذلك العلم. ما عساني أقول؟! قد يكون لنا حتى أن نأمل اختراع لغة ذات يوم، تكون من البساطة بحيث نعبر بها عن تلك الحقائق، فتظهر للذكاء العادي آنذاك ظهوراً مباشراً.

وإذا ما رفضنا قبول تلك النتائج كان علينا التسليم بأن الاستدلال الرياضي، يمتلك بالذات ضرباً من القوة الإبداعية، وبأنه بالتالي متميز عن القياس المنطقي.

بل إن الفرق بينهما يجب أن يكون عميقاً، وإلاّ فلن نهتدي ـ على سبيل المثال ـ إلى فك السرّ الكامن في الاستخدام المتواتر

للقاعدة القاضية بأن تطبيق العملية الواحدة المتجانسة على عددين متساويين، يعطى نتائج متماهية.

إن جميع الأنماط الاستدلالية تلك تحتفظ بطابعها التحليلي، سواء قبلت الردّ إلى القياس بالمعنى الدقيق أم لا. فهي بذلك عاجزة.

ـ ٢ ـ

[٣٣] قديمة هي هذه المناظرة، فقد كان لايبنيتز يتكلف البرهنة على أن ٢ و٢ يساويان ٤. فلننظر قليلاً في برهانه.

أفترض أننا عرّفنا العدد ١ والعملية $x+1$ هي تعني إضافة الوحدة إلى عدد معطى x.

وهذه التعريفات ـ كان شأنها ما كان ـ لن تتدخل في ما سيلحق من الاستدلال. أعرّف بعد ذلك الأعداد ٢ و٣ و٤ بالمعادلات التالية :

$$1+1=2 \quad (١)$$

$$2+1=3 \quad (٢)$$

$$3+1=4 \quad (٣)$$

وأعرّف كذلك العملية $x+2$ بالعلاقة التالية:

$$x+2=(x+1)+1 \quad (٤)$$

وإذا ما وضعنا ذلك كان لنا ما يلي:

$2+2=(2+1)+1$ (بحسب التعريف ٤)

$(2+1)+1=3+1$ (بحسب التعريف ٢)

$3+1=4$ (بحسب التعريف ٣)

وينتج عن ذلك ما يلي :

4=2+2 وهو ما كان يجب البرهنة عليه.

لا نماري في أن هذا الاستدلال تحليلي محض. ولكن اسألوا من شئتم من الرياضيين عنه وسيجيبكم بأنه "ليس برهاناً بالمعنى الدقيق وإنما هو تحقق" حيث اقتصرنا فيه على المقارنة بين تعريفين اصطلاحيين محض، ثم سجلنا تماهيهما من دون أن نتعلم شيئاً جديداً. والحال أن التحقق يختلف عن البرهان الحقيقي لأنه تحليلي محض ولأنه عقيم. وعقمه لازم عن كون النتيجة فيه ليست إلا
٣٤] تعبيراً عن المقدمات بألفاظ مغايرة. أمّا البرهان الحقيقي فهو ـ على العكس من ذلك ـ خصب، وخصبه لازم عن كون النتيجة فيه تكون ـ بمعنى ما ـ أعم من المقدمات.

ولم تكن المعادلة 4=2+2 لتقبل التحقق إلا لأنها جزئية وكل قول جزئي في الرياضيات قابل للتحقق على ذلك الوجه. غير أنه لو كان على الرياضيات أن تُرَد إلى سلسلة من التحققات من هذا القبيل فإنها لن تكون علماً. وهكذا فإن لاعب الشطرنج مثلاً لا يبدع علماً بفوزه في مباراة، إذ ليس من علم إلا العلم بالعام.

بل يمكننا أن نقول تدقيقاً إن غاية العلوم الصحيحة أن تعفينا تدقيقاً من تلك التحققات المباشرة.

ـ ٣ ـ

لننظر إذاً إلى المهندس وهو يعمل، ولنحاول مباغتة أساليبه.

تلك مهمة لا تخلو من مصاعب، إذ لا يكفي فيها فتح أي كتاب لتحليل أي برهان فيه.

علينا بادئ الأمر أن لا نلتفت إلى الهندسة حيث تتعقد المسألة بحكم المشاكل العويصة المتعلقة بدور المصادرات وبطبيعة مفهوم المكان ومصدره. ثم إنه لا يسعنا لأسباب شبيهة بتلكَ أن

نلجأ إلى تحليل الصغائر. فوجب البحث عن الفكر الرياضي حيث ظل فكراً محضاً، أي في علم الحساب.

ولا بد لنا ـ حتى في هذا المجال ـ أن نقوم بعملية انتقاء، ذلك أن المفاهيم الرياضية الأوّلية في الأجزاء الأرقى من نظرية الأعداد تمت بلورتها بلورة على غاية من العمق، أصبح معها التحليل صعب المنال.

فقد كان من المنتظر أن نجد التفسير المنشود في أوّليات علم
الحساب بيد أنّا نلمس أحياناً أن واضعي المتون الكلاسيكية لم
يتكلفوا إلا القليل من الدقة والصرامة في الاستدلال على أهم
المبرهنات، وليس لنا أن نشنع عليهم ما صنعوا، لأنهم إنما تصرفوا [٣٥]
كذلك، نزولاً منهم عند ضرورة اقتضاها كون الناشئة ليست مهيأة
للصرامة الرياضية الحقيقية حتى أنها قد لا ترى فيها إلا دقائق
مرهقة لا طائل من ورائها. ولعلّه من باب إهدار الوقت أن نصرّ
على حملها في سن مبكر على أن تكون أكثر صرامة، بل من
الواجب على تلك الناشئة أن تقطع مجدّداً وبسرعة الطريق التي
قطعها بتؤدة مؤسّسو العلم من دون أن تحرق المراحل.

أما لماذا كان مثل ذلك التأهيل الطويل النَفَس ضرورياً للتعود على تلك الصرامة التامة التي يبدو أن الواجب فيها أن تفرض نفسها تلقائياً على كل فكر سليم، فتلك مسألة منطقية وبسيكولوجية جديرة حقاً بالتأمل.

غير أننا لن نتوقف عندها لأنها خارجة عن موضوعنا، ولأن أقصى ما أريد أن أقصر همّي عليه حتى لا يضيع عنا هدفنا، أنه علينا أن نستدل مجدّداً على أبسط المبرهنات، وأن نضفي عليها الشكل الذي قد يرضي المهندس المتمرّس، لا ذلك الشكل الذي نضفيه عليه تفادياً لإرهاق المبتدئين.

تعريف الجمع ـ أفترض أننا عرفنا سلفاً العملية $x+1$ المتمثلة في زيادة العدد ١ إلى عدد معطى x.

وهذا التعريف لن يلعب ـ كان أمره ما كان ـ أي دور في ما سيلحق من استدلال.

ويتعلق الأمر الآن بتعريف العملية $(x+a)$ المتمثلة في زيادة العدد a إلى العدد معطى x.

لنفترض أننا عرفنا العملية

$$x+(a-1)$$

فإن العملية $a + x$ يكون تعريفها بالمعادلة التالية:

$$x+a=[x+(a-1)+1]$$

وسنعرف بالتالي ما هي $x+a$ عندما نعرف ما هي $x+(a-1)$. واعتباراً أنني افترضت في البداية أننا نعرف ما هي $x+1$ أمكننا أن نعرف على التوالي و «بالتراجع» العمليتين $x+2$ و$x+3$ و إلخ...

[٣٦] وهذا التعريف جدير بالانتباه إليه ولو لحظة، إذ هو ذو خصوصية تميّزه سلفاً عن التعريف المنطقي المحض. فالمعادلة (١) تتضمن بالفعل عدداً لا متناهياً من التعريفات المتميزة ليس للواحد منها معنى، إلا إذا علمنا التعريف الذي سبقه.

خواص الجمع ـ التجميعية ـ أقول إن $a+(b+c)=(a+b)+c$ وبالفعل فإن المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى $c=1$ وتكتب عندئذ كما يلي:

$$a+(b+1)=(a+b)+1$$

وباستثناء الاختلاف في الكتابة فإن ذلك ليس إلا المعادلة (١) التي كنت عرّفت بها الجمع.

لنفترض أن المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى $y = a$ إذاً ستكون صحيحة بالنسبة $c = y + 1$ ومعنى ذلك فعلاً هو:

$$(a + b) + y = a + (b + y)$$

ومنها نستنبط على التوالي ما يلي:

$$[(a + b) + y] + 1 = [a + (b + y)] + 1$$

أو استناداً إلى التعريف (١):

$$(a + b) + (y + 1) = a + (b + y + 1) = a[b + (y + 1)]$$

وهو ما يبين بتوسّط سلسلة من الاستنباطات التحليلية المحض أن المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى $a + 1$.

وما دامت تلك المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى C = 1 فإننا سنرى تباعاً أنها صحيحة بالنسبة إلى C = 2 و C = 3 إلخ...

الإبدالية ـ أوّلاً: أقول إن

$$a + 1 = 1 + a$$

والمبرهنة صحيحة بداهة بالنسبة إلى $a = 1$ ويمكننا أن نتحقق بتوسط استدلالات تحليلية محض من أنه إذا كانت المبرهنة [٣٧]
صحيحة بالنسبة إلى $a = y$ فإنها ستكون صحيحة كذلك بالنسبة إلى $a = y + 1$، والحال أنها صحيحة بالنسبة إلى $a = 1$ ، لذا ستكون كذلك أيضاً بالنسبة إلى $a = 2$ و$a = 3$ إلخ... وهو ما نعبر عنه حين نقول إن القضية المصرح بها قام عليها البرهان تراجعياً.

ثانياً: أقول إن

$$a + b = b + a$$

سبق أن تم الاستدلال على تلك المبرهنة بالنسبة إلى $b = 1$

ويمكن أن نتحقق تحليلياً من أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى $b = \beta$ فإنها ستكون كذلك بالنسبة إلى $b = \beta + 1$.

وهكذا فإن القضية أسّست تراجعياً.

تعريف الضرب ـ سنعرّف الضرب بتوسط المعادلتين التاليتين:

$$a \times 1 = a$$
$$a \times b = [a \times (b - 1)] + a$$

والمعادلة (٢) تتضمن مثل المعادلة (١) عدداً لا متناهياً من التعريفات. ولما كانت عرّفت $a \times 1$ أمكن لها أن تعرف بالتالي $a \times 2$ و $a \times 3$ الخ...

خواص الضرب ـ التوزيعية ـ أقول إن:

$$(a+b) \times c = (a \times c) + (b \times c)$$

ونتحقق تحليلياً من أن المعادلة صحيحة بالنسبة $C = 1$ واعتباراً إلى أنه إذا كانت المبرهنة قائمة بالنسبة إلى $c = y$ فإنها ستكون صحيحة بالنسبة إلى $c = y + 1$.

وهكذا تكون القضية أسست تراجعياً.

الإبدالية ـ أولاً: أقول إن:

$$a \times 1 = 1 \times a$$

والمبرهنة صحيحة بداهة بالنسبة إلى $a = 1$

ونتحقق تحليلياً أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى $a = \alpha$ فستكون كذلك بالنسبة $a = \alpha + 1$.

ثانياً: أقول إن

$$a \times b = b \times a$$

قد سبق الاستدلال على المبرهنة بالنسبة إلى $b = 1$ ولنا أن [٣٨]
نتحقق تحليلياً من أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى $b = \beta$ فستكون كذلك بالنسبة إلى $b = \beta + 1$.

أنهي عند هذا الحد تلك السلسلة الرتيبة من الاستدلالات. غير أن تلك الرتابة ذاتها قد كشفت عن الأسلوب المنتظم الذي نلقاه في كل خطوة.

وهذا الأسلوب هو البرهان التراجعي حيث نثبت بادئ الأمر مبرهنة بالنسبة إلى $n = 1$ ثم نبين لاحقاً أنها إذا كانت صحيحة بالنسبة إلى $n - 1$ فهي صحيحة بالنسبة إلى n ونخلص من ذلك، إلى أنها صحيحة بالنسبة إلى جميع الأعداد الصحيحة.

وقد سبق أن رأينا كيف يمكن استخدام هذا الأسلوب للبرهنة على قواعد الجمع والضرب، أي قواعد الحساب الجبري. وهذا الحساب يشكل أداة تحويل متهيئة إلى توافيق أكثر بكثير، من تلك التي يتهيأ إليها مجرد القياس المنطقي، بيد أن ذلك الأسلوب يبقى أداة تحليلية صرفاً عاجزة عن أن تعلمنا شيئاً جديداً. ولو لم يكن للرياضيات من أسلوب سواه لتوقفت لتوها عن التطور، ولكنها قد تلجأ مجدداً إلى الأسلوب ذاته أي الاستدلال بالتراجع، فيمكّنها من مواصلة مسيرتها إلى الأمام.

ونحن نجد ـ إذا ما أمعنا النظر ـ ذلك النمط الاستدلالي في كل خطوة، إما على الشكل البسيط الذي سبق أن أضفيناه عليه، وإما على شكل حوّر إن قليلاً أو كثيراً.

ذلك هو إذًا بامتياز الاستدلال الرياضي، وعلينا أن نقلب فيه النظر تقليباً أعمق.

ـ ٥ ـ

تتمثل الخاصية الأساسية للاستدلال بالتراجع في تضمنه عدداً لا متناهياً من القياسات المنطقية في صياغة وحيدة، إن صح القول.

[٣٩] وسأتولى قصد التفطن إلى ذلك تفطناً أفضل، سرْد تلك القياسات الواحد تلو الآخر، وهي قياسات تنتظم في متسلسلة إن صح التعبير، ثم هي لا محالة قياسات شرطية.

- المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى العدد ١
- إذا كانت المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى العدد ١ فهي صحيحة بالنسبة إلى العدد ٢.
- إذًا هي صحيحة بالنسبة إلى العدد ٢.
- فإذا كانت المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى العدد ٢، فهي صحيحة بالنسبة إلى العدد ٣.
- إذاً هي صحيحة بالنسبة إلى العدد ٣ وهكذا دواليك.

ونحن نرى أن نتيجة كل قياس، تصلح مقدمة صغرى للقياس الموالي.

ويمكن ـ إضافة إلى ذلك ـ أن ترد جميع المقدمات الكبرى لجميع قياساتنا إلى صياغة وحيدة وهي التالية: إذا كانت المبرهنة صحيحة بالنسبة إلى $n - 1$ فإنها صحيحة بالنسبة إلى n.

نرى إذاً أننا نقتصر في الاستدلالات التراجعية على التصريح بمقدمة القياس الأول الصغرى، وبالصيغة العامة التي تتضمن جميع المقدمات الكبرى باعتبارها حالات جزئية منها.

وهكذا تردّ هذه المتسلسلة اللامتناهية من القياسات إلى جملة تكتب في بضعة أسطر.

ومن اليسير أن نفهم الآن كيف أن كل استنتاج خاص لازم عن مبرهنة يمكن ـ كما سبق أن شرحت ذلك ـ التحقق منه بواسطة أساليب تحليلية محضة.

فإذا ما أردنا ـ بدل بيان أن مبرهنتنا صحيحة بالنسبة إلى جميع الأعداد ـ أن نكتفي ببيان أنها صحيحة بالنسبة إلى العدد ٦

مثلاً، كفانا أن نضع القياسات الخمسة الأولى من مسلسلتنا والقياسات التسعة الأولى إذا ما أردنا الاستدلال على صحة المبرهنة بالنسبة إلى العدد ١٠ وسنحتاج إلى أكثر من ذلك بكثير، إذا كان العدد أكبر. ولكن مهما كان ذلك العدد كبيراً، فإننا نوفق دائماً إلى بلوغه، ويكون التحقق التحليلي ممكناً.

ومع ذلك لن نرتقي البتة ـ مهما أوغلنا على هذا النحو ـ إلى المبرهنة العامة التي تقبل التطبيق على جميع الأعداد، وهي التي
يمكن وحدها أن تكون موضوع علم، إذ يستدعي بلوغها عدداً لا [٤٠]
متناهياً من القياسات ويتطلب تجاوز هوة لا يسدها صبر المحلل، إذا ما اقتصر على ما يتيحه المنطق الصوري لوحده.

وقد تساءلت في البداية: لم لا نستطيع تصور فكر تكون له من القدرة ما يكفي ليدرك في أقل من لمح البصر مجموع الحقائق الرياضية؟

والجواب الآن سهل. فباستطاعة لاعب الشطرنج أن يرتب مسبقاً أربع أو خمس حركات، ولكنه لن يُعد منها ـ مهما افترضنا له من المهارة ـ إلا عدداً متناهياً. وإذا ما صرف مداركه إلى علم الحساب، فإنه لن يدرك حقائقه العامة بحدس مباشر واحد، ولن يتمكن من الاستغناء عن الاستعانة بالاستدلال التراجعي لفهم أدنى المبرهنات، لأن هذا الاستدلال أداة تمكن من الانتقال من المتناهي إلى اللامتناهي.

وتلك الأداة صالحة على الدوام، لأنها تمكننا من قطع ما شئنا من الأشواط بقفزة واحدة، فتعفينا من القيام بتحقيقات طويلة مضنية رتيبة، سرعان ما تستعصي على الانجاز، ولكنها تصبح أداة لا مفر منها، بمجرد التطلع إلى المبرهنة العامة التي قد

يقربنا منها التحقيق التحليلي باستمرار، من دون أن يمكّننا من بلوغها.

وقد نخال أنفسنا في مجال علم الحساب هذا أبعد ما نكون عن تحليل الصغائر، ومع ذلك فإن فكرة اللامتناهي تلعب سلفاً ـ كما سبق أن رأينا ذلك ـ دوراً خطيراً فلا علم بدونها لأنه ليس ثمة شيء عام.

ـ ٦ ـ

يمكن أن يصاغ الحكم الذي يستند إليه الاستدلال بالتراجع صياغات أخرى، حيث نستطيع أن نقول على سبيل المثال، ثمة دائماً في مجموعة لا متناهية من الأعداد الصحيحة المختلفة، عدد ٤١]
هو أصغر الجميع.

وقد يتأتى لنا الانتقال بيسر من صياغة إلى أخرى فنتوهم على هذا النحو أننا برهنّا على مشروعية الاستدلال بالتراجع، ولكننا سرعان ما نتوقّف، لأننا سنصل دائماً إلى بديهية لا يمكن أن يقوم عليها البرهان. وليست تلك البديهية ـ في حقيقة الأمر ـ إلاّ القضيّة المطلوب البرهنة عليها وقد صيغت في لغة مختلفة.

فلا مفرّ لنا إذاً من الاستنتاج التّالي وهو أن قاعدة الاستدلال بالتراجع لا يمكن أن تردّ إلى مبدأ عدم التناقض.

كما لا يمكن أن تستمد تلك القاعدة من التجربة، لأن ما يمكن أن تعلمنا إياه، إنما هو أن القاعدة صحيحة بالنسبة إلى الأعداد العشر أو المائة الأولى مثلاً، من دون أن تستطيع بلوغ متتالية غير محددة من الأعداد، بل إنها لا تبلغ إلاّ جزءاً منها متراوح الامتداد، ولكنه محدّد دائماً.

ولو لم يتعلق الأمر إلا بذلك، لكان مبدأ عدم التناقض كافياً، إذ هو يمكننا على الدوام من بلورة ما شئنا من القياسات. أما

حين يتعلق الأمر بحشر ما لا يتناهى من القياسات في صيغة واحدة فعندها ـ أمام اللامتناهي ـ وعندها فقط يفشل ذلك المبدأ، وعندها أيضا تكون التجربة غير مجدية.

وتشكل هذه القاعدة التي لا يرتقي إليها لا البرهان التحليلي ولا التجربة، النمطَ الحقيقي للحكم التركيبي القَبْلِي. وليس بوسعنا ـ من ناحية أخرى ـ أن نذهب إلى أنها اصطلاح مثلما هو الحال بالنسبة إلى البعض من مصادرات الهندسة.

فَلِمَ يفرض هذا الحكم نفسه علينا فرضاً ببداهة لا مرد لها؟ لأنه ليس إلاّ تأكيداً لقوة الفكر حين يدرك ذاته قادراً على تصور معاودة الفعل الواحد معاودة غير محدّدة، بمجرد أن يكون ذلك الفعل ممكناً. والفكر يحدس تلك القوة حدساً مباشراً، ولا يمكن أن تكون التجربة عنده، إلاّ مناسبة لاستخدامها، ومن ثمة ينبجس وعيه بها.

غير أنه قد يذهب البعض إلى أنه إذا ما كانت التجربة الخام غير قادرة على إظهار شرعية الاستدلال بالتراجع، فهل يكون الأمر كذلك أيضاً بالنسبة إلى التجربة المعززة بالاستقراء؟ فنحن نرى على [٤٢]
التوالي أن نظرية ما صحيحة بالنسبة إلى العدد ١ والعدد ٢ والعدد ٣ وهكذا دواليك. فلنقل إن القانون جليّ جلاء لا يقل أهمية عن جلاء أي قانون فيزيائي مستند إلى ملاحظات كثيرة العدد ولكنها محدودة.

وليس لنا أن نماري في وجود تماثل لافت للانتباه ها هنا مع الأساليب المعتادة في الاستقراء. غير أنه ثمة فرق أساسي وهو أن الاستقراء يكون دائماً عند تطبيقه في العلوم الفيزيائية لا ـ يقينياً لأنه يستند إلى الاعتقاد بوجود نظام عام للكون قائم خارجنا، أما الاستقراء الرياضي أي الاستدلال التراجعي فهو على النقيض من ذلك يفرض نفسه علينا ضرورة، لأنه ليس إلا تأكيد خاصية من خصائص الفكر.

- ٧ -

سبق أن قلت إن الرياضيين يجتهدون دائماً **لتعميم القضايا** التي كانوا حصّلوها. وتجنباً للبحث عن مثال آخر، أذكر بأني كنت بيَّنت منذ حين المعادلة التالية:

$$a + 1 = 1 + a$$

ثم إني استخدمتها في ما بعد لوضع المعادلة التالية:

$$a + b = b + a$$

ومن الجلي أنها معادلة أعم.

وبالتالي كان للرياضيات أن تنتقل مثل بقية العلوم من الجزئي إلى العام.

وثمة ها هنا **واقعة** كان يمكن أن تبدو لنا مستعصية على الفهم في بداية هذه الدراسة، ولكن لم يعد من سرّ فيها في تقديرنا منذ أن وقفنا على أوجه التماثل بين البرهان الرجعي والاستقراء العادي.

ولا ريب في أن الاستدلال الرياضي الرجعي، والاستدلال [٤٣]
الفيزيائي الاستقرائي يستندان إلى أسس مختلفة، إلاّ أن تمشيهما متواز، حيث إنهما يسيران في اتجاه واحد، أي من الجزئي إلى العام.

لنمعن النظر أكثر في هذه المسألة. يكفينا للبرهنة على المعادلة التالية:

$$(١) \quad a + 2 = 2 + a$$

أن نطبق مرتين القاعدة التالية:

$$a + 1 = 1 + a$$

وأن نكتب ما يلي:

$$a = 2 = a + 1 + 1 = 1 + a + 1 = 1 + 1 + a = 2 + a \quad (٢)$$

وهكذا فإن المعادلة (٢) التي استنبطت بطريقة تحليلية صرف من المعادلة (١) ليست - مع ذلك - مجرد حالة خاصة منها وإنما هي شيء مختلف عنها.

وبالتالي فإنه لا يمكننا حتى أن نقول إننا ننطلق في الجزء التحليلي الاستنباطي من الاستدلالات الرياضية من العام إلى الجزئي بالمعنى العادي للكلمة.

وطرفا المعادلة (٢) هما مجرد توافيق أكثر تعقيداً من طرفي المعادلة (١). وليس يصلح التحليل إلاّ لفصل العناصر الداخلة في تلك التوافيق ودراسة العلاقات القائمة بينها.

وبالتالي فالرياضيون يباشرون عملهم «بتوسط البناء» فهم «يبنون» توافيق متزايدة التعقيد. وهم يدركون - بالعودة لاحقاً بواسطة تحليل تلك التوافيق أو قل تحليل تلك المجموعات إلى عناصرها الأوّلية - العلاقات القائمة بين تلك العناصر، ويستنبطون منها العلاقات القائمة بين المجموعات ذاتها.

ويدور الأمر ها هنا على تمش تحليلي محض إلا أنه لا يبتدىء بالعام لينتهي إلى الجزئي، لأنه من البديهي أنه لا يصح أن تعتبر المجموعات خاصة أكثر من عناصرها.

ولقد تم - عن جدارة - تعليق أهمية كبرى على أسلوب البناء [٤٤]
هذا، وثمة من ذهب إلى اعتباره الشرط الضروري والكافي لتقدم العلوم الصحيحة.

والأكيد أن «أسلوب البناء» ضروري. أما أن يكون كافياً فلا.

ولكي يكون البناء نافعاً، ولكي لا يكون إرهاقاً فكرياً لا طائل من ورائه، ولكي يكون مرقاة لمن طلب المزيد من العلو،

فإن الواجب فيه أن يمتلك ضرباً من الوحدة تسمح بإدراك شيء آخر يتجاوز مجرد ادراك تجاور عناصره.

وعلى وجه الدقة، فإن الأمر يقضي بأن نجد بعض الفائدة حين نعتبر البناء، بدل اعتبار عناصره ذاتها.

فما عسى أن تكون تلك الفائدة ؟

وعلى سبيل المثال، لماذا نستدل بخصوص مضلع يقبل دائماً الانقسام إلى مثلثات، عوض الاستدلال بخصوص المثلثات التي يتكون منها؟

والسبب في ذلك أنه توجد خصائص يمكن أن نقيم عليها البرهان بالنسبة إلى جميع المضلعات غير محدّدة الأضلاع، ثم لنا لاحقاً أن نطبق ذلك على مضلع مخصوص ما. ونحن لا نحصل ـ على العكس من ذلك ـ على تلك الخصائص إلا بجهد جهيد وذلك بدراسة مباشرة للعلاقات بين المثلثات البسيطة، في حين أن معرفة المبرهنة العامة تعفينا من بذل تلك الجهود.

وبالتالي فإن بناء ما لا يصبح ذا أهمية إلا إذا نزلناه إلى جانب أبنية أخرى مماثلة تشكل أنواعاً من جنس واحد.

فإذا كان رباعي الأضلاع شيئاً آخر مختلفاً عن مجرّد القرن بين مثلثين فلأنه من جنس المضلعات.

ومع ذلك وجب أن نكون قادرين على البرهنة على خاصيات الجنس من دون أن نكون ملزمين ببيانها تباعاً بالنسبة إلى كل نوع من الأنواع.

ويوجب بلوغُ ذلك، الارتقاء من الجزئي إلى العام بتسلق درجة أو عدة درجات.

[٤٥] ولا يلزمنا الأسلوب التحليلي "البنائي" بالنزول عبر الدرجات التي تسلقناها، بل هو يبقينا في المستوى نفسه.

ونحن لا نستطيع الارتقاء إلا بتوسط الاستقراء الرياضي المقتدر وحده على تعليمنا شيئاً جديداً. ومن غير ذلك الاستقراء المختلف من بعض الوجوه عن الاستقراء الفيزيائي، ولكنه خصب، فإن البناء سيكون عاجزاً عن إبداع العلم.

ولنلاحظ في النهاية أن هذا الاستقراء لا يكون ممكناً إلا إذا كانت العملية الواحدة قابلة للتكرار تكراراً لا نهاية له. ولأمر كهذا، لا يمكن لنظرية لعبة الشطرنج أن تصبح علماً لأن مختلف النقلات في مباراة واحدة لا تتشابه.

الفصل الثاني

العظم الرياضي والتجربة

إذا ما أردنا معرفة ما يعنيه الرياضيون بالمتّصل، فليست الهندسة هي التي يجب أن نسألها عن ذلك، لأن المهندس يجتهد دائماً اجتهاداً متفاوت الدرجات، في أن يتصور الأشكال التي يدرسها. غير أن تصوراته ليست عنده إلا أدوات. فهو يهندس باستخدام المكان كما يهندس باستخدام الطباشير. لذلك كان علينا أن ننتبه، فلا نولي أهمية كبرى لأعراض لا تزيد أهمية، في أغلب الأحيان، ببياض الطباشير. [٤٧]

وعلى المحلّل الحرّ ألاّ يخشى هذا العائق، فهو قد خلّص العلم الرياضي من جميع العناصر الغريبة عنه، فإذا هو قادر على الإجابة عن السؤال التالي: ما هي حقيقة هذا المتّصل الذي يتفكر فيه الرياضيون؟

ولقد أجاب عنه الكثير منهم ممن يحسنون تأمل صناعتهم كالسيد تانيري (Tannery) في مصنفه المسمى المدخل إلى نظرية دالات المتغيرة الواحدة(١).

---

(١) *Jules Tannery, Introduction à la théorie des fonctions d'une variable* (Paris: Hermann, 1886).

فلننطلق من سلم الأعداد الصحيحة، ولننزّل بين كل درجتين متتاليتين درجة أو عدة درجات وسطى، ثم لننزّل بين تلك الدرجات الجديدة درجات أخرى إضافية، وهكذا إلى ما لا نهاية له.

وعلى هذا النحو، نحصل على عدد لا متناه من الحدود وهي الأعداد التي نسميها كسرية أو نسبية أو متقايسة. بيد أن ذلك ليس بكاف، إذ يجب أن ننزّل بين تلك الحدود ـ على الرغم من أن عددها لا متناه سلفاً ـ أعداداً أخرى نسميها أعداداً صمّاء أو غير متقايسة.

[٤٨] ملاحظة أولى نبديها قبل أن نسترسل في هذا، وهي أن المتصل الذي نتصوره على هذا النحو، لم يعد الا مجرد مجموعة من الأفراد صففت وفقاً لنظام ما، بعدد لا متناه ولكنها حقاً أفراد خارج بعضها عن بعض. وليس ذلك هو التصور العادي، حيث نفترض وجود ضرب من الصلة الصميمة بين عناصر المتصل تجعل منه كلاً لا توجد فيه النقطة قبل الخطّ بل الخط قبل النقطة، بينما في الصياغة الشهيرة القائلة بأن المتصل هو الوحدة في الكثرة، تبقى الكثرة وحدها وتضمحل الوحدة. ولا يخطئ المحلّلون في تعريف المتصل عندهم على النحو الذي يعرّفونه به، إذ ذلك هو المتصل الذي يتفكرون فيه منذ أن أصبحوا يتباهون بالصرامة. وفي ما أسلفنا كفاية للتنبيه على أن المتصل الرياضي الحق، مختلف تماماً عن المتصل عند الفيزيائيين والميتافيزيقيين.

وقد يقول قائل أيضاً إن الرياضيين الذين يقنعون بذلك التعريف، إنما غررت بهم الكلمات، وإن الأمر يتطلب الإفصاح بدقة عن حقيقة كل درجة من تلك الدرجات الوسطى، وأن نفسر كيف يجب تنزيلها، وأن نبرهن على أن ذلك التنزيل ممكن. غير أن ذلك القول خاطئ لأن الخاصية الوحيدة المميزة لتلك الدرجات

التي تؤخذ في استدلال الرياضيين[٢] إنما هي خاصية أن توجد الدرجة قبل هذه أو تلك من الدرجات الأخرى أو بعدها، وبالتالي فهي الخاصية الوحيدة التي تدخل في التعريف.

وهكذا فليس ثمة ما يدعو إلى القلق بشأن الأسلوب الذي يقتضيه تنزيل الحدود الوسطى، وليس ثمة - من جهة أخرى - من يشك في إمكان تلك العملية، إلا إذا نسينا أن كلمة ممكن تدل في لغة المهندسين ببساطة، على ما خلا من التناقض.

ومع ذلك فإن تعريفنا لم يكتمل بعد. وها أنا أعود إليه بعد هذا الاستطراد الطويل.

تعريف الأعداد اللامتقايسة - انشغل رياضيو مدرسة برلين (Berlin) وعلى رأسهم السيد كرونيكر (Kronecker) ببناء هذا السلّم المتصل للأعداد الكسرية والنسبية، وذلك باستخدام العدد الصحيح دون سواه. وبهذا التقدير يكون المتصل الرياضي إبداعاً فكرياً محضاً، لا دخل فيه البتة للتجربة. [٤٩]

ولما كان مفهوم العدد النسبي لا يطرح عندهم أي إشكال، فقد تكلّفوا بالخصوص تعريف العدد اللامتقايس. ويحسن بي - قبل عرض تعريفهم في هذا الموضع - أن أبدي ملاحظة، حتى أنبّه إلى ما قد يثيره هذا التعريف من دهشة عند القراء الذين لم يتمرسوا بأساليب المهندسين.

فالرياضيون لا يدرسون موضوعات بل علاقات بين الموضوعات. فهم بالتالي لا يبالون باستبدال تلك الموضوعات بأخرى، شرط أن لا تتغير العلاقات. إذ ليست المادة هي التي تعنيهم بل الصورة وحدها.

---

(٢) نضيف إلى تلك الخاصية الخاصيات التي تتضمنها الاصطلاحات الخصوصية الداخلة في تعريف الجمع وسنتحدث عنها لاحقاً.

وإذا ما غاب عنا ذلك، تعذر علينا أن نفهم كيف أن السيد ديديكند (Dedekind) دل بعبارة عدد لاـ متقايس على مجرد رمز، أي على شيء مختلف تماماً عن الفكرة التي نحسب أننا حزناها عن الكم، حين نذهب إلى أنه كمّ قابل للقياس ويكاد يلمس.

ها هو ذا الآن التعريف الذي يقدمه السيد ديديكند (Dedekind): يمكن أن نوزّع بطرائق لا تحصى الأعداد اللامتقايسة على صنفين، شرط أن يكون عدد ما من الصنف الأول أكبر من عدد ما من الصنف الثاني، وأن نتقيّد بذلك.

وقد يتفق أن يوجد بين أعداد الصنف الأول عدد هو أصغر الجميع. فإذا رتبنا على سبيل المثال جميع الاعداد التي تفوق ٢ و ٢ ذاته في الصنف الأول، ورتبنا في الصنف الثاني جميع الأعداد الأصغر من ٢، لظهر أن ٢ سيكون أصغر أعداد الصنف الأول،
[٥٠] وبالتالي لأمكن اختيار العدد ٢ رمزاً لهذا الترتيب.

وقد يتفق أن يوجد ـ على العكس من ذلك ـ بين أعداد الصنف الثاني عدد هو أكبر الجميع وهو ما يحدث على سبيل المثال إذا ما تضمن الصنف الأول جميع الأعداد التي تفوق ٢ وتضمّن الصنف الثاني جميع الأعداد الأصغر من ٢ و ٢ ذاته.
[٥٠] وهاهنا أيضاً يمكن أن يختار العدد ٢ رمزاً لهذا الترتيب.

إلا أنه قد يتفق أيضاً أن لا نعثر لا في الصنف الأول على عدد يكون أصغر الجميع، ولا في الصنف الثاني على عدد يكون أكبر الجميع. لنسلم على سبيل المثال أننا وضعنا في الصنف الأول جميع الأعداد المتقايسة التي يكون مربعها أكبر من ٢، وفي الثاني جميع الأعداد التي يكون مربعها أصغر من ٢، علماً بأنه لن يوجد أي عدد مربعه يساوي ٢. ولن يوجد بداهة في الصنف الأول عدد أصغر الجميع باعتبار أن مربّع عدد ما، مهما تصورناه قريباً من ٢، فسنجد دائماً عدداً متقايساً، مربعه أقرب إليه من العدد ٢.

ومن وجهة نظر السيد ديديكند (Dedekind) ليس العدد اللامتقايس ٢√ إلا رمزاً لهذا النمط الخاص لتوزيع الأعداد المتقايسة. وعلى هذا النحو فإن كل نمط من أنماط التوزيع يوافقه عدد متقايس أو لا متقايس يتخذ له رمزاً.

إلا أن الاكتفاء بذلك قد ينسينا أصل تلك الرموز، فبقي علينا أن نفسر كيف انتهى بنا الأمر إلى أن أضفنا إليها ضرباً من الوجود المتعين. ثم ألا يبدأ الإشكال ـ إضافة إلى ذلك ـ مع الأعداد الكسرية ذاتها؟ هل كان لنا أن نتصوّر تلك الأعداد، لو لم نكن نعرف سلفاً مادةً نتوهم أنها تقبل القسمة إلى ما لا نهاية له أي [٥١]
نتوهم أنها المتّصل؟

المتصل الفيزيائي ـ يحمل ما أسلفنا على التساؤل عما إذا لم يكن مفهوم المتصل الرياضي مستمداً ببساطة من التجربة. ولو كان الأمر كذلك، لكانت معطيات التجربة الخام، وهي إحساساتنا، قابلة للقيس. وقد يذهب بنا الظن إلى أن الأمر كذلك فعلاً، إذ وقع الأيام الأخيرة التعنّي لقيسها، بل، أكثر من ذلك، تمّت صياغة قانون عُرف بقانون فيشنر (Fichner)، يقضي بأن الإحساس يتناسب مع لوغاريتم الاستثارة.

ولكن إذا ما تفحصنا جيداً التجارب التي اجتهد في إقامتها لوضع ذلك القانون، انتهينا إلى نتيجة عكسية تماماً. فقد لاحظنا مثلاً أن ثقلاً A مقداره ١٠غ وثقلاً B وزنه١١غ، يحدثان إحساسات متماثلة، وأن الثقل B لم يمكن تمييزه من الثقل C الذي مقداره ١٢غ، ولكن أمكن التمييز بيسر بين الثقل A والثقل C، وبالتالي أمكن أن تصاغ النتائج الخام للتجربة بالعلاقات التالية:

$$A = B \, , \, B = C \, , \, A < C$$

وهي علاقات يمكن أن تعتبر صيغة للمتصل الفيزيائي.

ثمة ها هنا انعدام تطابق لا يحتمل مع مبدأ عدم التناقض وقد ألجأتنا ضرورةُ وضع حد له إلى إنشاء المتصل الرياضي.

فنحن إذاً مكرهون على أن نخلص إلى أن ذلك المفهوم إنما ابتدعه الفكر، وأن التجربة هي التي هيأت له مناسبة ذلك الابتداع.

ولا يسعنا أن نعتقد أن كميتين متساويتين مع كمية ثالثة ليستا متساويتين في ما بينهما، ومن ثمة ننساق إلى افتراض أن A مختلف عن B وأن B مختلف عن C ولكنّ نقص حواسنا هو الذي لم يتح [٥٢]
لنا التمييز بينها.

خَلْق المتصل الرياضي ـ المرحلة الأولى ـ يمكننا ـ طلباً لتفسير الوقائع ـ الاكتفاء ـ حتى هذا الموضع ـ بأن ننزّل بين A وB عدداً يسيراً من الحدود التي تبقى منفصلة. ماذا سيجدّ الآن إذا ما استعنا بآلة ما، لتلافي عجز حواسنا كأن نستعمل المجهر مثلاً؟ فالحدود التي لم نكن نستطيع تمييز الواحد منها عن الآخر، كما كان الشأن منذ حين بالنسبة إلى A وB، تبدو لنا عندئذ متميزة. ولكن سيتنزّل بين A وB بعد أن أصبحا متميزين، حدّ جديد هو D لن نستطيع تمييزه لا عن A ولا عن B، وستحتفظ النتائج التجريبية الخام على الدوام بخصائص المتّصل الفيزيائي، بما فيه من تناقض محايث له، مهما سلكنا من أساليب غاية في التطور.

ولا مناص لنا من ذلك التناقض، إلا بأن ننزّل باستمرار حدوداً جديدة بين الحدود التي سبق التمييز بينها. ويقضي الأمر بأن تتواصل تلك العملية إلى ما لا نهاية له، ولا نستطيع أن نتصور أنه علينا إيقافها، إلا إذا تخيلنا آلة ما تكون على درجة من القوة، بحيث تحلل المتصل الفيزيائي إلى عناصر منفصلة مثلما يحلّل المنظار درب التبّانة إلى نجوم، غير أننا لا نستطيع تخيل ذلك الأمر، لأننا نستخدم آلاتنا دائماً بواسطة حواسنا. فالصورة التي

يكبرها المجهر إنما نلاحظها بالعين، ومن ثمة فهي ستحتفظ وجوباً بخصائص الإحساس البصري، وبالتالي بخصائص المتصل الفيزيائي.

وما من شيء يميز طولاً يلاحَظ مباشرة، عن نصف ذلك الطول وقد ضاعفه المجهر، فالكلّ متجانس مع الجزء وذلك تناقض جديد، أو بالأحرى سيكون ثمة تناقض لو افترضنا أن عدد الحدود متناه.

ومن البيّن بالفعل أنّه لما كان الجزء يتضمن من الحدود أقل ممّا يتضمن الكل، فإنه لن يكون شبيهاً بالكل.

وهذا التناقض يرفع بمجرد اعتبار عدد الحدود لا متناهياً. [٥٣]
فليس ثمة على سبيل المثال ما يمنع اعتبار مجموعة الأعداد الصحيحة مشابهة لمجموعة الأعداد الزوجية رغم أنها ليست إلا جزءاً منها. وبالفعل فإن كل عدد صحيح يقابله عدد زوجي هو ضعفه.

غير أن الخلاص من ذلك التناقض الذي تنطوي عليه المعطيات الإمبيريقية لم يكن وحده ما حدا الفكر على خَلْق مفهوم المتصل المتكون من عدد غير محدّد من العناصر.

فالأمر يجري ها هنا على نحو ما يجري عليه بالنسبة إلى متتالية الأعداد الصحيحة حيث يكون بمستطاعنا تصور أن وحدة ما يمكن أن تنضاف إلى مجموعة وحدات. وتتاح لنا بفضل التجربة، المناسبةُ التي نمارس فيها تلك القدرة فنعيها، ونشعر انطلاقاً من تلك اللحظة أن قدرتنا لا حد لها، وأنه بمستطاعنا أن نعدّ إلى ما لا نهاية له، ولو لم يتهيأ لنا إلا حساب عدد محدود من الأشياء.

وعلى النحو نفسه، نشعر بمجرد الشروع في تنزيل حدود وسطى بين حدّين متتاليين من متسلسلة ما، أن تلك العملية يمكن أن تمتد إلى ما بعد أي حدّ كان. وليس ثمّة من سبب ذاتي يدعو لتوقفها.

فليسمح لي أن أسمي - اختصاراً للكلام - متصلاً رياضياً من الرتبة الأولى كل مجموعة حدود تكوّنت وفقاً للقانون ذاته الذي تكوَّن بمقتضاه سُلَّم الأعداد المتقايسة. وإذا ما نزّلنا لاحقاً في تلك المجموعة درجات جديدة وفقاً لقانون تكوُّن الأعداد اللامتقايسة، حصلنا على ما سنسمّيه المتصل من الرتبة الثانية.

المرحلة الثانية - لم نخط بعد إلاّ الخطوة الأولى حيث بيّنا أصل المتّصلات من الرتبة الأولى. وعلينا الآن أن نفهم لم كانت تلك المتّصلات غير كافية، ولم كان علينا إنشاء الأعداد اللامتقايسة.

[٥٤] إذا أردنا تخيل خط فلن يتأتى لنا ذلك إلا باعتماد خواص المتصل الفيزيائي، على معنى أنا لن نستطيع تصوره إلاّ وله عرض ما. وعندئذ فإن خطين سيبدوان لنا على هيئة شريطين ضيّقين. وإذا ما اكتفينا بتلك الصورة الفجّة، كان من البديهي أنه إذا ما تقاطع الخطان وُجد لهما جزء مشترك.

أما المهندس الحق فإنّه يكلّف نفسه عناء إضافياً، إذ إنه يطلب الخط بلا عرض والنقطة بلا امتداد - من دون أن يتخلى تماماً عن الاستعانة بحدسه - وهو لا يدرك ما أراد إلا إذا أخذ الخط على أنّه الحدّ الذي يؤول إليه شريط متزايد الدقّة، والنقطة على أنها الحدّ الذي تؤول إليه مساحة متزايدة التصاغر. وعندها سيكون للشريطين - مهما كان ضيقهما - مساحة مشتركة تتضاءل أكثر فأكثر على قدر ما يضيق الشريطان، وسيشكل حدّهما ما يسميه المهندس الحق نقطةً.

ولذلك السبب يقال إن لخطين متقاطعين نقطة مشتركة، وتبدو تلك الحقيقة حدسية.

ولكنها قد تفضي إلى تناقض إذا ما تصورنا الخطين على أنهما متّصلان من الرتبة الأولى، وأعني بذلك أن الخطين اللذين رسمهما المهندس لا يتكونان إلاّ من نقاط تكون إحداثياتها أعداداً

صحيحة. ويكون التناقض جلياً بمجرد تأكيد وجود مستقيمات ودوائر.

ومن الواضح فعلاً، أنه إذا ما اعتبرت النقاط ذات الإحداثيات المتقايسة وحدها نقاطاً حقيقية، لزم عن ذلك أن لا تتقاطع الدائرة المحاطة بمربع، مع قطر ذلك المربع، لأن إحداثيات نقطة التقاطع لا متقايسة.

ليس في ما أسلفنا كفاية بعد، لأننا لن نحصل على ذلك النحو، إلا على بعض الأعداد اللامتقايسة لا على جميعها.

ولكن لنتصوّر مستقيماً قسّم إلى نصفي مستقيم فسيبدو كل واحد منهما في أفق خيالنا وكأنه شريط ذو عرض ما، ثم إن [٥٥]
الشريطين سيتداخلان لعدم وجود مجال بينهما، وسيبدو لنا الجزء المشترك وكأنما هو نقطة باقية على الدوام عندما نريد تخيل شريطينا وهما يصيران أدقّ فأدقّ. وهكذا سنسلّم ـ آخذين الأمر مأخذ الحقيقة الحدسية ـ بأن التخوم المشتركة بين هذين المستقيمين تشكل نقطة. وها هنا نتعرف على نظرية كرونيكر (Kronecker) التي أخذ فيها العدد اللامتقايس على أنّه الحد المشترك بين صنفين من الأعداد الصحيحة.

ذلك هو أصل المتصل من الرتبة الثانية وهو المتصل الرياضي بالمعنى الدقيق.

تلخيص ـ نقول باختصار إن للفكر ملكة إبداع الرموز، وهي ملكة بنى بفضلها المتصل الرياضي بما هو مجرد نظام من الرموز، وإن قدرته لا تحدها إلا ضرورة تحاشي كل ضروب التناقض، غير أن الفكر لا يستخدم تلك الملكة إلا إذا ما هيأت له التجربة سبباً لذلك.

وكان ذلك السبب ـ في الحالة التي عنينا بها ـ مفهوم المتصل الفيزيائي المستمد من المعطيات الحسية الخام. إلا أن ذلك

المفهوم ينتهي إلى سلسلة من التناقضات لا بد من إزالتها تباعاً. لذلك كنا مكرهين على تخيل نظام من الرموز متزايد التعقيد. ولن يكون النظام الذي سنقف عنده خالياً من التناقض الداخلي فحسب، لأن الأمر كان كذلك في كل المراحل التي قطعناها، بل سيكون أيضاً خالياً من التناقض مع مختلف القضايا التي نسميها حدسية، وهي قضايا مستمدة من مفاهيم تجريبية متراوحة التبلور.

العظم القابل للقيس ـ لم تكن الأعظام التي درسناها حتى الآن أعظاماً قابلة للقيس. فنحن نعرف جيداً هل كان أحدها أكبر من الآخر، ولكننا لا نعرف هل هو أكبر منه مرتين أو ثلاثاً.

[٥٦] وبالفعل فأنا لم أهتم حتى الآن إلاّ بالنظام الذي رتّبنا عليه الحدود. إلا أن ذلك لا يكفي بالنسبة إلى القسط الأوفر من التطبيقات، حيث يجب أن نتعلم مقارنة المجال الفاصل بين حدين. ويصبح المتصل عظماً قابلاً للقيس وفقاً لهذا الشرط وحده، ويمكننا عندها تطبيق عمليات علم الحساب عليه.

وهو ما لا يتأتى لنا إلا بتوسط اصطلاح جديد خاص. وسنصطلح على أنه في مثل هذه الحالات يكون المجال الواقع بين الحدّين A و B مساوياً للمجال الفاصل بين الحدين C وD. ومثاله أننا انطلقنا في بداية عملنا من سلّم الأعداد الصحيحة، ثم نزّلنا بين كل عددين متتاليين n درجة وسطى، والمطلوب هو اعتبار تلك الدرجات متقايسة المسافات اصطلاحاً.

تلك طريقة لتعريف جمع عظمين، لأنه إذا كان المجال AB ـ وفقاً لتعريفه ـ مساوياً للمجال CD فإن المجال AD سيكون ـ وفقا لتعريفه ـ مجموع المجالين AB وAC.

وهذا التعريف تحكمي في جانب كبير منه، من دون أن يكون كذلك تماماً، لأنه تعريف تقيده بعض الشروط منها قاعدتا الجمع وهما التبديلية والتجميعية. ولا مشاحة في الاختيار، ولا

داعي إلى تدقيقه، ما دام التعريف الذي تخيّرناه مستجيباً لهاتين القاعدتين.

ملاحظات مختلفة ـ يمكننا أن نطرح أسئلة كثيرة مهمة، منها :

ـ هل يستوفي إبداع المتصل الرياضي قدرة الفكر الإبداعيـة؟ وجوابنا بالسلب إذ تبين أعمال دي بوا ريمون (Du Bois-Reymond) ذلك بياناً ساطعاً.

ونحن نعلـم أن الرياضيين يميزون بين اللامتناهيات الصغر المنتمية إلى رتب مختلفة، وأن تلك التي تنتمي منها إلى الرتبة الثانية ليست لا متناهية الصغر على جهة الإطلاق فحسب، بل هي كذلك أيضا بالنسبة إلى اللامتناهي الصغر من الرتبة الأولى. ولا
يعسر علينا تخيل اللامتناهيات الصغر من رتبة كسرية وحتّى صماء، [٥٧]
وهكذا نستحضر سلم المتصل الرياضي الذي كنا نظرنا فيه في الصفحات السابقة.

ولا يستوفي ما أسلفنا كلّ شيء، إذ توجد لا متناهيات الصغر على غاية من الصغر بالنسبة إلى تلك التي هي من الرتبة الأولى ولكنها ـ على العكس من ذلك ـ لا متناهية الكبر بالنسبة إلى تلك التي هي من رتبة ١ + ε مهما كانت ε صغيرة. تلك إذاً حدود جديدة نزلت في متسلسلتنا. وإذا سُمح لي بالعود إلى اللغة التي كنت استخدمتها منذ حين وهي لغة شبه مريحة وإن لم ترسخها العادة، فسأقول إننا أبدعنا على هذا النحو، ضرباً من المتّصل من الرتبة الثالثة.

ومن اليسير أن نوغل أكثر في المسألة، ولكن لن يدور الأمر إلا على ترف فكري، لا نتخيل فيه إلا رموزاً من دون تطبيق ممكن، وهو ما لا يجرؤ عليه أحد. فالمتصل من الرتبة الثالثة الذي أدى إليه اعتبار مختلف رتب اللامتناهي الصغر، إنما هو ذاته على

غاية من ضحالة النفع، مما لا يؤهله إلى إثبات وجوده. والمهندسون لا يأخذون به إلا باعتباره مجرد فضول فكري، ذلك أن الفكر لا يمارس ملكته الإبداعية إلا عندما تفرض عليه التجربة ذلك ضرورة.

- هل نحن في مأمن - بعد أن امتلكنا مفهوم المتصل الرياضي - من التناقضات الشبيهة بتلك التي وجدناها في مبدأ نشأته؟

أجيب عن ذلك سلباً، وسأضرب له مثلاً. ينبغي أن يكون المرء راسخاً في العلم حتى لا يذهب إلى أنه من البديهي أن يكون لكل منحنٍ مُماس tangente. والحق أنه إذا ما تصورنا هذا المنحني وخطّاً ما، على هيئة شريطين ضيقين، كان بإمكاننا دائما أن نضعهما بشكل يحصل لهما به جزء مشترك بينهما، من دون أن يتداخلا. لنتخيل بعد ذلك أن عرض هذين الشريطين يتضاءل إلى ما لا نهاية له، فإن ذلك الجزء المشترك يمكن أن يبقى باستمرار. وعند النهاية - إن صح التعبير - يكون للخطين نقطة مشتركة من دون أن يتداخلا، وأعني بذلك أنهما يتماسّان.

والمهندس الذي يستدل بهذا الشكل لا يقوم - عن وعي أو
[٥٨] عن غير وعي - إلا بما قمنا به سابقاً للبرهنة على أن خطين متقاطعين يملكان نقطة مشتركة، ويمكن أن يبدو حدسه مشروعاً تماماً مثل حدسنا.

ومع ذلك فحدسه يخدعه، حيث يمكن أن يقوم البرهان على وجود منحنيات لا مماس لها، وذلك في حالة تعريف المنحني على أنه متصل تحليلي من الرتبة الثانية.

والأقرب إلى الحق أنه كان يمكن رفع التناقض بحيلة شبيهة بتلك الحيل التي نظرنا فيها سابقاً، ولكنا لم نُعن بذلك التناقض، لأنه لا يوجد إلا في حالات استثنائية، لذلك اقتصرنا - بدل بذل

الجهد للتوفيق بين الحدس والتحليل - على التضحية بأحدهما. ولما كان المفروض في التحليل أن يظل على صفائه، فإن الحدس هو المنتقص.

المتّصل الفيزيائي المتعدّد البعد ـ كنت درست في ما سبق المتصل الفيزيائي على النحو الذي تطالعنا به المعطيات الحسية الخام، أو قل إن شئت النتائج الخام لِتجارب فيشنر (Fichner). وقد كنت بيّنت أن تلك التجارب تختزل في الصيغ المتناقضة التالية:

$$A = B, B = C, A < C$$

فلننظر الآن كيف تم تعميم ذلك المفهوم وكيف يمكن أن نستمد منه مفهوم المتّصلات متعدّدة البعد.

لنعتبر مجموعتين مهما كانتا من الإحساسات. فإما أن نستطيع تمييز إحداهما عن الأخرى، وإما أن لا نستطيع ذلك مثلما هو الشأن في تجارب فيشنر (Fichner) حيث يتميز الثقل ذو ١٠غ عن الثقل ذي ١٢غ، ولكنه لا يتميز عن الثقل ذي ١١غ. ولا حاجة لي بشيء آخر لبناء المتصل المتعدد البعد.

لنسمّ عنصراً واحداً من إحدى مجموعتي الإحساسات، ولنعتبره شيئاً مماثلاً **لنقطة** الرياضي من دون أن نجعل الأمر يبلغ ـ مع ذلك ـ حدّ التماثل الكلي، بحيث لا يمكننا القول إن عنصرنا بلا امتداد بتعلّة أننا لا نستطيع تمييزه من العناصر [٥٩]
المجاورة له، فهو ـ تبعاً لذلك ـ عنصر يلفه ضرب من الضباب. وإذا سمح لي باستعمال هذا التشبيه الفلكي قلت إن عناصرنا أشبه ما تكون بالسديم، في حين أن النقاط الرياضية أشبه ما تكون بالنجوم.

وإذا تمّ وضع ذلك، قلنا إن نسقاً من العناصر يشكل متصلاً إذا ما استطعنا الانتقال من عنصر إلى عنصر آخر، بتوسّط متسلسلة

من العناصر المتتالية المترابطة ترابطاً يجعل كل عنصر منها لا يتميز من العنصر الذي سبقه. فنسبة تلك السلسلة إلى الخط الرياضي، كنسبة العنصر المنعزل إلى النقطة.

ويجب عليّ - قبل أن نوغل أكثر - تفسير ماهية المقتطع. فلنعتبر المتصل C ولنحذف منه بعض العناصر، ولنفترض مؤقتاً أنها لا تنتمي إليه. فمجموع العناصر المحذوفة بهذه الطريقة تسمى مقتطعاً. ويتفق أن ينشعب المتصل C بفعل ذلك المقتطع، إلى عدة متصلات متمايزة، في حين أن مجموع العناصر المتبقية لم تعد تشكل متّصلاً فريداً.

وسيوجد عندئذ في المتصل C عنصران A و B علينا أن نعتبرهما منتميين إلى متصلين مختلفين. وسنعترف بذلك لأنه سيستحيل علينا أن نجد سلسلة من العناصر المتتالية في المتصل C تكون منطلقة من A في اتجاه B، ولأن كل عنصر منها غير متميز عن سابقه، اللهم إلا إذا كان أحد عناصر تلك السلسلة غير متميز عن عناصر المقتطع فوجب إذًا حذفه.

ويمكن - على العكس من ذلك - أن يَكون المقتطع المستحدث غير كاف لتشعيب المتصل C. ويقتضي تصنيف المتصلات الفيزيائية البحث عن جميع المقتطعات التي يتطلبها ضرورةً تشعيبها.

فإذا ما أمكن تشعيب متصل فيزيائي C بتوسط مقتطع يقتصر على عدد متناه من العناصر المتمايزة من بعضها (بحيث لا تشكل - نتيجة لذلك - لا متصلاً واحداً ولا متصلات متعددة) قيل عندئذ إن C متصل وحيد البعد.

[٦٠ وإذا لم يقبل C - على العكس من ذلك - التشعيب إلاّ بتوسط مقتطعات تشكل هي ذاتها متصلات قيل إن C متصل متعدد البعد. وإذا كفت مقتطعات متصلات وحيدة البعد، قيل إن المتصل

C ذو بعدين، وإذا كفت قطيعات ثنائية البعد، قيل إن المتصل C ثلاثي البعد، وهكذا دواليك...

وعلى هذا النحو يكون المتصل الفيزيائي متعدد البعد، قد عرّف ببساطة، استناداً إلى تمايز مجموعتين من الأحاسيس أو لا تمايزهما.

المتّصل الرياضي المتعدّد البعد ـ انبجس مما أسلفنا عظم المتصل الرياضي ذو الأبعاد n انبجاساً طبيعياً بتوسط تمشٍّ أشبه ما يكون بذاك الذي درسناه في بداية هذا الفصل.

إن نقطة ما من مثل هذا المتّصل تبدو لنا ـ كما نعلم ـ معرّفة بواسطة منظومة n من الأعظام المتمايزة تسمى إحداثيات تلك النقطة.

وليس من الضروري أن تكون تلك الأعظام دائماً قابلة للقيس. وثمة على سبيل المثال فرع من الهندسة لا يلتفت فيه إلى قيس هذه الأعظام، بل تنصرف العناية فيه إلى معرفة ما إذا كانت النقطة B من المنحنى ABC مثلاً، واقعة بين النقطتين A وC من دون اهتمام بمعرفة ما إذا كان القوس AB مساوياً للقوس BC أو أكبر منه بمرتين. وذلك هو ما يسمى بالطوبولوجيا *Analysis situs*.

إنه مذهب نظري برمته، كان استرعى انتباه المهندسين، ومنه شهدنا خروج سلسلة من المبرهنات الرائعة يصدر بعضها عن بعض. وما يميز تلك المبرهنات من مبرهنات الهندسة العادية أنها كيفية محض، وأنها تظل صحيحة حتى لو قام بنسخ الأشكال رسّام أخرق يفسد نسبها إفساداً فجاً، ويستبدل كل خط مستقيم بخط أقرب ما يكون إلى المنحني.

ولمّا أردنا إدخال القيس على المتّصل الذي كنا بصدد تعريفه، تحول ذلك المتصل إلى مكان، فنشأت الهندسة. ولكني أرجئ تلك المسألة إلى الجزء الثاني من هذا الكتاب.

القســم الثانــي

المكـــان

الفصل الثالث

الهندسات اللاإقليدية

كل نتيجة تفترض مقدّمات. وهذه المقدمات ذاتها، إما أن تكون بديهية بالذات فلا تحتاج إلى برهان، وإما أن يتطلب وضعها الاستناد إلى قضايا أخرى. ولما لم يكن بمستطاعنا الارتداد إلى ما لا نهاية له، كان على كل علم استنباطي ولا سيما الهندسة، أن تتأسس على عدد ما من البديهيات اللاّمبرهن عليها. لذلك كانت جميع متون الهندسة تبدأ بالتصريح بتلك البديهيات. إلاّ أنه ثمة ها هنا تفريق لا بد من القيام به، حيث إنّ بعض تلك البديهيات ليست من قضايا الهندسة ومثاله "أن الكميتين المساويتين لكمية ثالثة متساويتان في ما بينهما" فتلك قضية من قضايا التحليل التي آخذها على أنها أحكام تحليلية **قَبْلِية** من دون أن أتعنّى للنظر فيها. [٦٣]

غير أنه من واجبي أن أُلحّ على بديهيات أخرى تخص الهندسة، وأغلب المتون تفصح عن ثلاث منها :

(١) لا يمكن أن يمرّ من نقطتين إلا مستقيم واحد.

(٢) الخط المستقيم أقصر السبل بين نقطة وأخرى.

(٣) لا يمكن أن نمرّر من نقطة ما إلا موازياً واحداً لمستقيم معطى.

ولئن لم نكن - عادة - في حاجة إلى البرهنة على ثانية تلك البديهيات، فلأنه بمستطاعنا استنباطها من الاثنتين الأخريين، ومن بديهيات أخرى نسلم بها ضمنياً، من دون أن نصرح بها، وهي أكثر بكثير من المبرهنات الصريحة، كما سأفسر ذلك لاحقاً.

[٦٤] ولطالما تكلّفنا كذلك من دون جدوى، البرهنة على البديهية الثالثة المعروفة باسم مصادرة إقليدس. وإنّه ليعسر علينا تخيل الجهود التي صرفت في ذلك الأمل الوهمي، حتى بيّن عالمان - في وقت واحد تقريباً من بداية القرن - أحدهما روسي، والآخر مجري، وهما لوباتشفسكي (Lobatchevsky) وبوليبه (Bolyai)، أنّ ذلـك البرهـان محـال، فخلّصانا خلاصاً شبه محقق من مخترعي هندسات لا مصادرات فيها ، حتى أنّه لم يرد منذ ذلك العهد على اكاديمية العلوم، أكثر من برهان أو برهانين في السنة الواحدة.

والمسألة لم تُستوف بعدُ، وستشهد عما قريب تقدماً ملحوظاً مع نشر بحث ريمان (Riemann) المسمى Ueber die Hypothesen welche der Geometrie Zum Grunde liegen[1]. وقد ألهم هذا المصنف الصغير جلّ الأعمال الجديدة التي سأتحدث عنها لاحقاً، ويجدر بنا أن نذكر من بينها أعمال بلترامي (Beltrami) وهلمهولتز (Helmholtz).

هندسة لوباتشفسكي - لو أمكن استنباط مصادرة إقليدس من البديهيات الأخرى للزم عن ذلك، بداهةً، أنه إذا ما نفيناها وسلمنا ببقية البديهيات، لآل بنا ذلك إلى نتائج متناقضة، ولكان - تبعا لذلك - من المحال تأسيس هندسة متناسقة على مثل تلك المسلّمات.

(١) ورد اسم البحث في نص الكاتب باللغة الألمانية ومعناه **في الفرضيات التي تستخدم في تأسيس الهندسة** (المترجم).

وذلك هو بالضبط ما فعله لوباتشفسكي حيث افترض في البداية ما يلي: يمكننا أن نرسم من نقطة ما، متوازيات عدة مع مستقيم معطى.

ثم إنه أبقى ـ على الرغم من ذلك ـ على جميع بديهيات إقليدس الأخرى. وهو يستنبط من تلك الفرضيات سلسلة من المبرهنات يستحيل العثور على أي تناقض بينها، ثم إنه يبني هندسة، لا يقل منطقها المثالي في شيء عن منطق هندسة إقليدس.

ومن الطبيعي أن تكون تلك المبرهنات مختلفة اختلافاً كبيراً عن تلك التي ألفناها وهي ـ إجمالاً ـ تحمل على بعض الحيرة في أول الأمر.

وهكذا يكون مجموع زوايا المثلث أصغر دائماً من زاويتين [٦٥]
قائمتين ويتناسب الفرق بين ذلك المجموع وزاويتين قائمتين مع مساحة المثلث.

ويستحيل بناء شكل مشابه لشكل آخر معطى مع اختلاف الأبعاد.

إذا قسّمنا محيط دائرة إلى أجزاء متساوية عددها n ورسمنا مماسّات من نقاط التقسيم، شكلت تلك المماسات وعددها n مضلعاً إذا ما كان شعاع الدائرة على درجة كافية من الصغر. أما إذا كان ذلك الشعاع كبيراً نوعاً ما، فإن المماسات لا تلتقي.

ولا جدوى في تعداد تلك الأمثلة، إذ إن قضايا لوباتشفسكي لا قرابة لها البتة مع قضايا إقليدس، غير أنها لا تقل عنها تماسكاً ـ من وجهة نظر منطقية ـ.

هندسة ريمان ـ لنتخيل عالماً لا تسكنه إلا كائنات سطيحة. ولنفترض أن تلك الحيوانات «اللامتناهية التسطيح» موجودة جميعاً على مستوٍ Plan واحد لا تستطيع الخروج منه.

ولنسلّم ـ إضافة إلى ذلك ـ بأن ذلك العالم بعيد بما فيه الكفاية عن العوالم الأخرى بحيث لا يلحقه منها تأثير. وليس علينا من حرج - ما دمنا نتصنع الفرضيات - أن نضيف إلى تلك الكائنات، فكراً، وأن نعتبرها قادرة على صناعة الهندسة. فلن تضفي تلك الكائنات في هذه الحالة على المكان إلاّ بعدين.

ولنفترض الآن أن تلك الحيوانات الخيالية لم تتخذ ـ مع بقائها سطيحة ـ شكلاً مسطحاً بل شكلاً كرويّاً sphérique، وأنها تجمّعت كلها على كرة واحدة، لا تستطيع الانفصال عنها. فأية هندسة ستتخذ تلك الحيوانات لنفسها؟ من الواضح بادئ ذي بدء أنها لن تضفي على المكان إلا بعدين، وأن ما سيقوم عندها مقام الخط المستقيم إنّما هو أقصر السبل المؤدية من نقطة إلى أخرى من الكرة، وأعني به قوس دائرة كبيرة، أي أن هندستها ستكون ـ باختصار ـ هندسة كرويّة.

وما ستسميه تلك الكائنات مكاناً، إنما هو تلك الكرة التي لا
[٦٦] تملك أن تخرج منها والتي على سطحها تجري جميع الأحداث التي بإمكانها أن تعرفها، وسيكون المكان عندها بلا حدود، إذ إننا نستطيع دائماً السير إلى الأمام على كرة من دون أن نضطرّ إلى التوقف. ومع ذلك فهو مكان متناهٍ لا نعرف له حدّاً، ولكنّا نستطيع الإحاطة به.

وبهذا التقدير تكون هندسة ريمان (Riemann) هندسة كرويّة تمتد على أقطار ثلاثة. لقد اضطرّ هذا الرياضي الألماني ـ لبناء تلك الهندسة ـ لا إلى أن يتخلّى عن مصادرة إقليدس فحسب بل كذلك عن البديهية الأولى القاضية بأنه لا يمر من نقطتين إلا مستقيم واحد.

ثم إنّه لا يمكن على وجه العموم تمرير أكثر من دائرة كبرى واحدة، من نقطتين معطاتين، على كرة ما (وهي الدائرة التي

تقوم، كما كنا نرى ذلك، عند كائناتنا الخيالية، مقام المستقيم) بيد أنه ثمة استثناء إذ يمكن ـ في حالة ما إذا كانت النقطتان متقابلتين قطرياً ـ تمرير دوائر كبرى لا متناهية العدد منها.

وكذلك الشأن في هندسة ريمان في إحدى صيغها على الأقل حيث لا يمر ـ على وجه العموم ـ من نقطتين إلاّ مستقيم واحد، إلا أنه ثمة حالات استثنائية تمر فيها من نقطتين مستقيمات لا متناهية العدد.

يقوم ضرب من التقابل بين هندسة ريمان (Riemann) وهندسة لوباتشفسكي (Lobatchevsky) بحيث يكون مجموع زاويا المثلث

ـ مساوياً لزاويتين قائمتين في هندسة إقليدس

ـ وأصغر من زاويتين قائمتين في هندسة لوباتشفسكي

ـ وأكبر من زاويتين قائمتين في هندسة ريمان

ثم إن عدد ما يمكن رسمه من متوازيات مع خط واحد انطلاقاً من نقطة ما:

- مساوٍ لواحد في هندسة إقليدس

- مساو لصفر في هندسة ريمان

- لا متناه في هندسة لوباتشفسكي

ولنضف أن المكان عند ريمان متناه ولو أنه دون حدود وذلك بالمعنى الذي كنا أضفيناه على هاتين الكلمتين.

السطوح الثابتة الانحناء ـ ومع ذلك يبقى اعتراض محتمل قائماً. [٦٧]

فلئن كانت مبرهنات لوباتشفسكي وريمان لا تتضمن أي تناقض، فإنه كان على هذين المهندسين أن يتوقفا قبل استنفاد جميع النتائج التي يمكن أن تستمد من فرضياتهما مهما كان ما

استمداه منها كثيراً، وذلك بحكم لاتناهي عدد تلك النتائج. فمن أنبأنا أنهما لن ينتهيا إلى تناقض لو أوغلا في الاستنباط إلى أبعد من ذلك؟

ولا وجود لهذا الإشكال في هندسة ريمان إذا ما توقفنا عند بعدين، إذ لا تختلف تلك الهندسة ذات البعدين ـ كما رأينا ـ عن الهندسة الكرويَّة التي لا تعدو أن تكون فرعاً من الهندسة العادية، ولذلك فهي بمنأى عن كل جدال.

وقد دحض كذلك السيد بلترامي (Beltrami) ذلك الاعتراض في ما يخص هندسة لوباتشفسكي حيث لم تعد ـ بعد أن ردها إلى هندسة ذات بعدين ـ إلاّ فرعاً من الهندسة العادية.

وقد وُفّق إلى ذلك على النحو التالي: لنأخذ شكلاً على مساحة ما، ولنتخيل أن ذلك الشكل رسم على قماش مرن لا متمدد وُضع على تلك المساحة، بحيث إذا ما انتقل القماش من موضعه وتبدل شكله، أمكن خطوط ذلك الشكل المختلفة أن تغيّر شكلها من دون أن يتبدل طولها. ولا يتأتى عامة لذلك الشكل المرن اللامتمدد، أن ينتقل من دون أن ينفصل عن المساحة. إلا أنه ثمة بعض المساحات المعيّنة التي تكون عليها تلك النقلة ممكنة، وهي المساحات الثابتة الانحناء.

فإذا ما رجعنا إلى التشبيه الذي قمنا به سابقاً، فتخيلنا كائنات سطيحة تعيش على إحدى تلك المساحات، فإن تلك الكائنات ستحكم بإمكان تحرك شكل ما، مع محافظة جميع خطوطه على طول ثابت، في حين ستبدو حركة من هذا القبيل غير معقولة في نظر كائنات سطيحة تعيش على مساحة متبدلة الانحناء.

وهذه المساحات الثابتة الانحناء على نوعين: [٦٨]

نوع ذو انحناء موجب يمكن تغيير شكله بصفة تجعلها تغطي

الكرة. وتبعاً لذلك تعود هندسة هذه المساحات، إلى الهندسة الكروية وهي هندسة ريمان (Rieman).

والنوع الآخر ذو انحناء سالب وقد بيّن السيد بلترامي (Beltrami) أن هندسة تلك المساحات إنما هي هندسة لوباتشفسكي. وهكذا ترتبط هندستا ريمان ولوباتشفسكي ثنائيّتا البعد بهندسة إقليدس.

تأويل الهندسات اللاإقليدية ـ على ذلك النحو يختفي الاعتراض المتعلق بالهندسات ثنائية البعد.

ومن اليسير سحب استدلال السيد بلترامي على الهندسات ثلاثية البعد، ولن تجد العقول التي لا تصدمها فكرة المكان رباعي الأبعاد، أية صعوبة في تقبل ذلك، إلا أنها نادرة، وبالتالي فإني أفضّل أن أنهج لذلك نهجاً آخر.

لنعتبر مستوياً ما، أسميه مستوياً أساسياً، ولننشئ ضرباً من ضروب المعاجم نكتب فيه على عمودين سلسلتين تتقابل عناصرهما واحداً واحداً على الهيئة ذاتها التي تتقابل فيها كلمات ذات معنى واحد من لغتين مختلفتين في المعاجم العادية.

مكان ... قطعة من المكان واقعة فوق مستو أساسي

مستوٍ... كرة تقسم المستوى الأساسي عموديا

مستقيم... دائرة تقسم المستوى الأساسي عمودياً

كرة ...كرة

دائرة ...دائرة

زاوية ...زاوية

مسافة بين نقطتين ... لوغاريتم العلاقة اللاتوافقية بين هاتين

النقطتين وتقاطع المستوى الأساسي مع دائرة تمر منهما وتقسمه عمودياً، إلخ...

[٦٩] لنأخذ بعد ذلك مبرهنات لوباتشفسكي، ولنترجمها بواسطة ذلك المعجم كما نترجم نصاً ألمانياً بواسطة معجم فرنسي ـ ألماني، فسنحصل بهذه الطريقة على مبرهنات الهندسة العادية.

وعلى سبيل المثال فإن مبرهنة لوباتشفسكي القائلة بأن «مجموع زوايا المثلث أصغر من زاويتين قائمتين» تترجم على النحو التالي: إذا كان لمثلث منحنٍ أضلاع على هيئة أقواس الدائرة، وإذا مدّدت تلك الاضلاع فقطعت المستوى الأساسي على عمود، كان مجموع زوايا ذلك المثلث المنحني أصغر «من قائمتين».

وبهذا التقدير، مهما أوغلنا في استنباط نتائج فرضيات لوباتشفسكي، لن يؤول بنا الأمر إلى التناقض، إذ لو كانت مبرهنتان من مبرهناته متناقضتين فعلاً لكان الأمر كذلك بالنسبة إلى ترجمتيهما اللتين قمنا بهما بواسطة معجمنا، بيد أن هاتين الترجمتين، إنما هما مبرهنتان من مبرهنات الهندسة العادية، وليس من أحد يشك في سلامة تلك الهندسة من التناقض. أما من أين لنا بهذا اليقين وهل له ما يبرّره؟ فتلك مسألة أخرى لا يمكنني أن أنظر فيها ها هنا لأنها توجب بعض التفصيلات. وهكذا لا شيء يبقى من الاعتراض الذي كنت صغته سابقاً.

بقي شيء آخر: وهو أن هندسة لوباتشفسكي لم تعد ـ بما هي هندسة تقبل تأويلاً عيانياً ـ مجرد تمرين منطقي لا جدوى فيه، بل إنها قابلة للتطبيق، وليس لي متسع من الوقت للحديث ها هنا عن تلك التطبيقات، ولا عما استفدناه منها، أنا والسيد كلاين (Klein)، من أجل تكامل المعادلات الخطية.

زد على ذلك، أن ذلك التأويل ليس الوحيد، بل بإمكاننا أن نضع معاجم عديدة مماثلة للمعجم السابق، تمكّننا من أن

نحول - بمجرد «الترجمة» - مبرهنات لوباتشفسكي إلى مبرهنات هندسية عادية.

البديهيات الضمنية - هل تشكل البديهيات الصريحة التي ترد في المتون الأسس الوحيدة التي تقوم عليها الهندسة؟ بمستطاعنا [٧٠] أن نتأكد من العكس حيث إن التخلي عن تلك البديهيات، الواحدة بعد الأخرى، لا يمس بعض القضايا التي تشترك فيها نظريات إقليدس ولوباتشفسكي وريمان. ويقتضي ذلك أن تكون تلك القضايا مستندة إلى بعض المقدمات التي يسلم بها المهندسون من دون صياغتها، ومن المفيد أن نتكلّف استخراجها من البراهين الكلاسيكية.

زعم ستيوارت ميل (Stuart Mill) أن كل تعريف يتضمن بديهية، لأننا نؤكد - حين نعرّف - وجود الموضوع المعرَّف، وهو زعم فيه مغالاة بعيدة، إذ إنه يندر في الرياضيات أن نقدم تعريفاً من دون أن نشفعه بالبرهنة على وجود الموضوع المعرف، وإذا ما استغنينا عن ذلك فلأن القارئ يستطيع عادة القيام به بنفسه. وينبغي أن لا ننسى أن كلمة وجود ليس لها معنى واحد حين يدور الأمر على كائن رياضي أو على موضوع مادي. فالكائن الرياضي موجود ما لم يتضمن تعريفه تناقضاً سواء تعلق الأمر بتناقض داخلي أو بتناقض خارجي مع القضايا التي سبق التسليم بها.

ولئن كانت ملاحظة ستيوارت ميل (Stuart Mill) لا تصدق على جميع التعريفات فهي ليست - بسبب ذلك - خالية من الصحة بالنسبة إلى البعض منها. فنحن نعرّف المستوي Plan أحياناً على النحو التالي:

المستوي مساحة على هيئة ما بحيث يكون المستقيم الذي يصل نقطتين من نقاطه موجوداً كلياً في تلك المساحة.

ومن البيّن أن هذا التعريف يخفي بديهية جديدة. والحقيقة أنه

يمكننا تبديله وذلك أفضل، لكن علينا عندئذ أن نصوغ البديهية صياغة صريحة.

ويمكن أن تتيح تعريفات أخرى المناسبة لتأملات لا تقل أهمية عن تلك.

ومثاله تعريف تساوي شكلين إذ نقول: "يكون شكلان متساويين عندما نستطيع مراكبتهما. ويوجب تراكبهما نقل أحدهما حتى يتطابق مع الثاني ...، ولكن كيف يجب أن ينقل؟ لو طرح
[٧١] هذا السؤال لأجيب عنه ـ على الأرجح ـ بأنه علينا أن نفعل ذلك من دون تبديل شكله، على غرار ما ينقل جسم صلب ثابت. فإذا نحن في حلقة مفرغة بيّنة بذاتها.

وبالفعل فإن هذا التعريف لا يعرّف شيئاً، ولن يكون له من معنى عند كائن يسكن عالماً لا وجود فيه إلا للسوائل. ولئن هو بدا لنا واضحاً فلأننا ألفنا خاصيات الأجسام الصلبة الطبيعية التي لا تختلف كثيراً عن خاصيات الأجسام الصلبة المثالية التي جميع أبعادها ثابتة.

غير أن هذا التعريف مهما كان ناقصاً، فإنه تلزم عنه بديهية.

فإمكان تحرك شكل ثابت، لا يمثل حقيقة بديهية بذاتها، أو قل في أدنى تقدير، إن وضوحها ليس إلا كوضوح مصادرة إقليدس وليس كوضوح حكم تحليلي قبْلي.

وإضافة إلى ذلك، يتبيّن لنا من دراسة تعريفات الهندسة وبراهينها، أننا لسنا ملزمين بالتسليم ـ من دون برهان ـ بإمكان تلك الحركة فحسب، بل أيضاً بالبعض من خاصياتها.

ذلك ما ينجلي لنا ـ بادئ ذي بدء ـ من خلال تعريف الخط المستقيم .فقد اقتُرحت له الكثير من التعريفات الفاسدة، في حين

أن التعريف الصحيح هو ذاك المسكوت عنه في كل البراهين التي يتدخل فيها الخط المستقيم، كما في ما يلي:

«يتفق أن تكون حركة شكل ثابت على نحو تظل فيه جميع نقاط خط ينتمي إلى ذلك الشكل ساكنة في حين تتحرك جميع النقاط الموجودة خارج ذلك الخط، ويسمّى مثل ذلك الخط خطاً مستقيماً». وقد فصَلْنا عمداً في هذه الصياغة بين التعريف والبديهية التي تلزم عنه.

وكثيرة هي البراهين التي تفترض قضايا نعفي أنفسنا من التصريح بها، حيث إنها تلزم بالتسليم بإمكان نقلة شكل في المكان بصورة ما. ومن ذلك البرهنة على حالات تساوي المثلثات، وعلى إمكان إسقاط عمودي على خط ما، من نقطة ما.

الهندسة الرابعة ـ من بين البديهيات الضمنية، ثمّة بديهية تبدو [٧٢] لي جديرة ببعض الاهتمام، ذلك أنه إذا ما تخلينا عنها أمكننا بناء هندسة رابعة لا تقل اتساقاً عن هندسات إقليدس ولوباتشفسكي وريمان.

فلكي نبرهن على أنه بمستطاعنا دائماً أن نرفع من نقطة A عمودياً على المستقيم AB، نأخذ مستقيماً AC متحركاً حول النقطة A ومتداخلاً في البداية مع المستقيم الثابت AB. ثم نجعله يدور حول النقطة A حتى تجيء على امتداد AB.

وهكذا نفترض قضيتين، أولاهما أن مثل ذلك الدوران أمر ممكن، وثانيتهما أن ذلك الدوران قد يتواصل حتى يكون المستقيمان واقعين على امتداد واحد.

فإذا سلمنا بالقضية الأولى ورفضنا الثانية انتهينا إلى سلسلة من المبرهنات أكثر غرابة من مبرهنات لوباتشيفسكي وريمان ولكنها سليمة من التناقض.

لن أسوق إلا واحدة من تلك المبرهنات وسأختار أطرفها: **يمكن لمستقيم حقيقي أن يتعامد مع ذاته.**

مبرهنة لي Lie ـ يتجاوز عدد البديهيات المقحمة ضمنياً في البراهين الكلاسيكية ما يحتاج إليه. فكان السعي في تقليصها إلى العدد الأدنى، ويبدو أن السيد هيلبرت (Hilbert) قدّم الحل النهائي لهذا المشكل. ويمكننا قبلياً أن نتساءل عمّا إذا كان ذلك التقليص ممكناً، وعمّا إذا لم يكن عدد البديهيات الضرورية، والهندسات الممكن تخيلها، عدداً لا متناهياً.

تغلب على كل هذا النقاش مبرهنة قدمها السيد سوفوس لي (Sophus Lie) يمكننا صياغتها على النحو التالي:

لنفترض أننا نسلم **بالمقدمات** التالية:

١ ـ للمكان أبعاد عددها n.

٢ ـ حركة شكل ثابت ممكنة.

٣ ـ يجب توفر p شرطاً لتحديد موقع ذلك الشكل في المكان.

[٧٣] **إن عدد الهندسات المتلائمة مع تلك المقدمات سيكون محدوداً.**

ويمكنني أن أضيف أن حدّا أعلى لـ p قائم إذا تحدد n.

فإذا سلمنا إذاً بإمكان الحركة، لم يكن باستطاعتنا إلاّ إنشاء عدد متناه (بل ربما جد محدود) من الهندسات ثلاثية البعد.

هندسات ريمان ـ غير أنه يبدو أن ريمان ينقض تلك النتيجة، فهذا العالم يبني عدداً لا متناهياً من الهندسات المختلفة ليست تلك التي ارتبطت عادة باسمه إلاّ حالة خاصة منها.

فالأمر برمته متعلق عنده بالطريقة المتبعة في تعريف طول

منحن، والحال أنه ثمة طرائق لا متناهية لتعريف ذلك الطول يمكن أن تكون كل واحدة منها منطلقاً لهندسة جديدة.

ذلك أمر صحيح تماماً، إلاّ أنّ أكثر تلك التعريفات لا تتلاءم مع حركة شكل ثابت، وهي الحركة التي نفترض امكانها في مبرهنة لي (Lie) ولذلك فإن هندسات ريمان هذه ـ على أهميتها من وجوه عديدة ـ لا يمكنها أن تكون إلا هندسات تحليلية صرفاً، ولن تتهيأ لبراهين شبيهة ببراهين إقليدس.

هندسات هيلبرت ـ وأخيراً تخيّل السيدان فيروناز (Veronese) وهيلبرت (Hilbert) هندسات جديدة أشد غرابة سمياها هندسات لا أرخميدية. وقد بنياها على رفض بديهية أرخميدس (Archimède) القاضية بأن كلّ طول معطى، إذا ضرب في عدد صحيح كبير بما فيه الكفاية، فإنه ينتهي إلى تجاوز أي طول آخر معطى، مهما كان كبيراً، فجميع نقاط هندستنا العادية موجودة على الخط اللاأرخميدي، إلا أن ثمة عددًا لا متناهياً من النقاط الأخرى تتنزل بينها، حتى أنه يمكننا إدراج عدد لا متناه من النقاط
الجديدة بين قطعتي مستقيم كان بإمكان مهندسي المدرسة العتيقة [٧٤]
اعتبارهما متلاصقين. ويعني ذلك باختصار أن المكان اللاّأرخميدي لم يعد ـ ولنقل ذلك باستعمال لغة الفصل السابق ـ متصلاً من الرتبة الثانية بل أصبح متصلاً من الرتبة الثالثة.

في طبيعة البديهيات ـ لا يرى أكثر الرياضيين في هندسة لوباتشفسكي إلا طرفة منطقية، غير أن بعضهم ذهب فيها إلى أبعد من ذلك. فباعتبار أن الكثير من الهندسات ممكنة، هل نحن على يقين من أن هندستنا هي الهندسة الصحيحة؟ ولئن كانت التجربة تفيدنا ـ لامحالة ـ بأن مجموع زوايا المثلث يساوي قائمتين، فلأننا لا نعمل إلّا على مثلثات صغيرة جدّاً، يعتبر لوباتشفسكي أن الفرق بينها متناسب مع مساحة المثلث، فهل يصبح الفرق

محسوساً إذا ما عملنا على مثلثات أكبر، أو إذا ما أصبحت قياساتنا أدق ؟ وعندئذ لن تكون الهندسة الإقليدية إلاّ هندسة انتقالية.

تقتضي مناقشة هذا الرأي أن نتساءل - بادئ ذي بدء - عن طبيعة البديهيات الهندسية.

فهل هي أحكام تأليفية قَبْلية كما كان يقول بذلك كانط؟

لو كان الأمر كذلك، لفرضت علينا تلك البديهيات نفسها بقوة لا يكون لنا معها أن نتصور القضية الضد، ولا أن نقيم عليها بناء نظرياً، أي إنّه لن توجد هندسة لاإقليدية.

لنأخذ - لتبيّن ذلك - حكماً تأليفياً قبلياً مثل الحكم الآتي - وقد سبق أن لمسنا في الفصل الأول أهميته الكبرى.

إذا كانت مبرهنة ما صحيحة بالنسبة إلى العدد ١، وإذا برهنّا على أنها صحيحة بالنسبة إلى العدد $n+1$ شرط أن تكون صحيحة بالنسبة إلى n. فإنها ستكون صحيحة بالنسبة إلى جميع الأعداد الصحيحة الموجبة.

إذا حاولنا بعد ذلك التخلص من تلك القضية، وأن نؤسس على نفيها علم حساب فاسداً، شبيهاً بالهندسة اللاإقليدية فلن نستطيع إلى ذلك سبيلاً، بل إننا سنميل منذ البداية إلى اعتبار تلك [٧٥]
الأحكام بمثابة الأحكام التحليلية.

ولنعد - زيادة على ذلك - إلى ما كنّا توهمناه بشأن الحيوانات السطيحة. إنه لا يمكننا أن نسلم بأن تلك الكائنات ستتبين - إذا كان فكرها قُدّ على غرار فكرنا - هندسة إقليدس التي ستنقضها جميع تجاربهم.

فهل علينا أن نستنتج من ذلك أن بديهيات الهندسة حقائق تجريبية؟ لكننا لا نجرب على مستقيمات ومحيطات مثالية، بل على

موضوعات مادية. فما يمكن أن تكون موضوعات التجارب التي قد تستخدم أساساً للهندسة إذاً؟ إن الجواب سهل.

رأينا سابقاً أننا نستدل دائماً وكأنما الأشكال الهندسية تسلك مسلك الأجسام الصلبة. فما تستمده الهندسة من التجربة إنما هو خاصيات تلك الأجسام.

لقد كانت أيضاً خاصيات الضوء وانتشاره على الاستقامة، المناسبةَ التي عنها نشأت بعض بديهيات الهندسة ولا سيما بديهيات الهندسة الإسقاطية، حتى أنّا نميل إلى القول ـ من وجهة النظر هذه ـ إلى أن الهندسة المترية هي دراسة الأجسام الصلبة وأن الهندسة الإسقاطية هي دراسة الضوء.

إلاّ أن إشكالاً يبقى قائماً ولا سبيل إلى تجاوزه. فلو كانت الهندسة علماً تجريبياً لما كانت علماً صحيحاً بل ستكون خاضعة إلى مراجعة لا تنتهي. ما عساني أقول؟ ستكون مخطئة من دون شك، إذ إننا نعلم أنه لا وجود لجسم صلب ثابت تماماً.

ليست بديهيات الهندسة إذاً أحكاماً تأليفية قبلية ولا هي وقائع تجريبية.

إنها اصطلاحات، وما نختاره من بين جميع الاصطلاحات الممكنة، إنما هو اختيار يهتدي بوقائع تجريبية، ولكنه يبقى حراً لا تحده إلاّ ضرورة تحاشي كل تناقض. وعلى هذا النحو أمكن أن تبقى المصادرات **صارمة** الصحة، حتى لو لم تكن القوانين التجريبية التي حددت بنيتها، إلاّ قوانين تقريبية.

ونقول بتعبير آخر، إن **بديهيات الهندسة** (ولا أتحدث عن بديهيات علم الحساب) **ليست إلاّ تعريفات مقنّعة.** [٧٦]

* ما يجب عندئذ أن يكون رأينا في هذا السؤال: هل هندسة إقليدس صحيحة؟ إنه سؤال لا معنى له أصلاً.

فكأنما نحن نتساءل عما إذا كان النظام المتري **صحيحاً** والقياسات القديمة خاطئة، أو عما إذا كانت الإحداثيات **الديكارتية** صحيحة، والأحداث القطبية خاطئة. **فهندسة ما لا تكون أصح من** هندسة أخرى، بل كل ما في الأمر هو أنها **أكثر ملاءمة من سواها.**

والهندسة الإقليدية أكثر الهندسات ملاءمة وستبقى كذلك.

وذلك أولاً لأنها أبسطها جميعاً. وهي ليست كذلك **تبعاً** لعاداتنا الفكرية، أو تبعاً لضرب لا أتبين حقيقته من **ضروب الحدس المباشر** الذي قد نكون حدَسْنا به المكان الإقليدي. **إنها أبسط** الهندسات في ذاتها، مثلما أن مضلعاً من الدرجة **الأولى،** أبسط من مضلع من الدرجة الثانية. إن صيغ حساب **المثلثات** الكري أكثر **تعقيداً** من صيغ حساب المثلثات المستقيمة، **وستبدو** كذلك أيضا في نظر محلل قد يجهل دلالتها الهندسية.

وهي ثانياً أكثر ملاءمة، لأنها تتوافق توافقاً جيداً مع **خاصيات** الأجسام الصلبة التي تتحسسها أعضاؤنا وأعيننا، والتي منها **نصنع** أدوات القيس التي بين أيدينا.

الفصل الرابع

المكان والهندسة

لنبدأ بمفارقة صغيرة. [٧٧]

في استطاعة كائنات خُدم فكرها مثلما خُدم فكرنا وكان لها ما لنا من الحواس ولكنها لم تتلق أية تربية سابقة، أن تتقبل من عالم خارجي يُختار بحذق، احساسات من شأنها أن تحملها على بناء هندسة غير هندسة إقليدس، وتعيين مواضع ظواهر ذلك العالم الخارجي في مكان لا إقليدي، أو حتى في مكان رباعي الأبعاد.

ولو قُدر لنا نحن وقد تربينا في عالمنا الراهن، أن ننقل فجأة إلى ذلك العالم الجديد، فلن نجد صعوبة في ربط ظواهره بعالمنا الإقليدي. ولو قدّر - على العكس من ذلك - لتلك الكائنات أن تنقل إلى عالمنا فستكون محمولة على ربط ظواهر عالمنا هذا بالمكان اللاإقليدي.

ما عساني أقول؟ قد نوفق نحن أيضاً - ببذل بعض الجهد - إلى أن نفعل ما تفعل تلك الكائنات.

وقد يوفّق إلى تصور البعد الرابع من جدّ في طلب ذلك العمرَ كله.

المكان الهندسي والمكان التصوري ـ كثيراً ما يقال إن صور الأشياء الخارجية تتخذ مواضعها في المكان، بل لا يتأتى لها أن تتشكل إلا بذلك الشرط. ويقال أيضاً إن ذلك المكان الذي يستخدم إطاراً أعد إعداداً جيّداً لإحساساتنا وتصوراتنا، مماثل
[٧٨] للمكان عند المهندسين ويمتلك جميع خاصياته.

ولا بد من أن تكون الجملة الأخيرة قد بدت رائعة حقاً في نظر جميع المفكرين النبهاء الذين ذهبوا هذا المذهب. إلاّ أنه يجدر بنا أن ننظر في ما إذا لم يكونوا قد انفعلوا بضرب من الوهم قد يجلوه التحليل المعمق.

فما هي بادئ الأمر خصائص المكان بالمعنى الدقيق؟ وأنا أقصد خصائص المكان الذي هو موضوع الهندسة وسأسميه **المكان الهندسي**.

هذه بعض خصائصه الأكثر أهميّة:

١ ـ إنه متصل

٢ ـ إنه لامتناه

٣ ـ له ثلاثة أبعاد

٤ ـ إنه متجانس وأعني بذلك أن كل نقاطه متماثلة

٥ ـ إنه متماثل المناحي وأعني بذلك أن جميع المستقيمات التي تمر من نقطة واحدة مستقيمات متماثلة.

لنقارن الآن هذا المكان بإطار تصوراتنا وإحساساتنا وهو الإطار الذي يمكنني أن أسميه **المكان التصوري**.

المكان البصري ـ لنعتبر أولاً انطباعاً بصرياً محضاً يعزى إلى صورة تتكون في عمق شبكية العين.

إن التحليل السريع كاف، ليكشف لنا عن أن تلك الصورة

تبدو متصلة ولكن كأنّ لها بعدين فقط، وهذا ما يميز بدايةً، المكان البصري المحض عن المكان الهندسي.

ثم إن تلك الصورة قد حُبست في إطار محدود.

وثمة فرق آخر لا يقل أهمية عن الفوارق السابقة، حيث إن **ذلك المكان البصري الصرف ليس متجانساً**. فجميع نقاط الشبكية لا تقوم - إذا صرفنا النظر عن الصور التي يمكن أن تتكوّن فيها - بدور واحد، إذ لا يمكن بحال من الأحوال، اعتبار البقعة الصفراء مماثلة لنقطة واقعة في حافة الشبكية. ولا يعزى ذلك فقط إلى أن الشيء الواحد يُحدث فيها بالفعل انطباعات أشد بكثير، وإنما أيضاً إلى كون النقطة التي تحتل مركز أي إطار محدود لا تبدو مماثلة لنقطة مجاورة لها تنتمي إلى أحد حفافه.

والأقرب إلى الحق، أن تحليلاً أكثر عمقاً قد يكشف لنا عن [٧٩]
أن اتصال المكان البصري ببعديه لا يعدو هو أيضاً أن يكون وهماً، وهو ما ينأى بنا أكثر عن المكان الهندسي. ولكن دعنا نمرّ مرّ الكرام على هذه الملاحظة التي كنّا أسهبنا في نتائجها في الفصل الثاني.

ومع ذلك فإن البصر يمكّن لنا من تقدير المسافات وبالتالي من إدراك بعد ثالث. إلا أنّنا نعلم جميعاً أن إدراك ذلك البعد الثالث، يُعزى إلى الإحساس بالجهد اللازم لتكييف العين، والإحساس بما يجب أن تقوم به العينان لحصول التقارب حتى نرى الشيء بوضوح.

وتلك إحساسات عضلية مختلفة تماماً عن الإحساسات البصرية التي أعطتنا مفهوم البعدين الأوّلين. لذلك لم يكن للبعد الثالث أن يظهر لنا، وكأنما هو يقوم بالدور ذاته الذي يقوم به البعدان الآخران. فما يمكن أن يسمى **مكاناً بصرياً كاملاً** ليس إذّاً **مكاناً متماثل المناحي**...

والحقيقة أنه مكان ذو ثلاثة أبعاد، ويعني ذلك أن عناصر إحساساتنا البصرية (أو على الأقل تلك التي تساهم في تكوين مفهوم الامتداد) ستكون معلومة تماماً عندما نعرف ثلاثة منها، ولكي نستخدم اللغة الرياضية نقول إنها ستكون دالات ذات متغيرات ثلاثة مستقلة.

ولنمعن النظر في الأمر، فقد تجلّى لنا البعد الثالث بطريقتين مختلفتين، هما جهد التكييف وتقارب العينين.

والأقرب إلى الحقيقة أن هذين المؤشرين متوافقان على الدوام، وأنّ علاقة ثابتة تقوم بينهما، أو قل بتعبير رياضي، إن المتغيرتين اللتين يُقاس بهما هذان الإحساسان العضليان لا تبدوان لنا مستقلتين. ولنا أيضاً ـ تجنباً لاستعمال مفاهيم رياضية بلغت بعدُ درجة متقدمة من التهذيب ـ أن نسترجع لغة الفصل الثاني، لنصوغ
[٨٠] الواقعة ذاتها كما يلي: إذا كان إحساسان تقاربهما A و B إحساسين لا متميزين فإن إحساسي التكييف'A و'B اللذين يصحبانهما على التوالي يكونان كذلك إحساسين لا متميزين.

غير أن الأمر ها هنا يتعلق تقريباً بواقعة تجريبية، ولا شيء يمنع قبلياً من افتراض العكس. فإذا ما حدث العكس فتبدل الإحساسان العضليان بطريقتين مستقلتين، أصبح لزاماً علينا أن نأخذ في الحسبان متغيرة مستقلة إضافية. وعندها سيبدو لنا «المكان البصري الكامل» بمثابة متصل فيزيائي رباعي البعد.

ولي أن أضيف أن الأمر يدور ها هنا أيضاً على واقعة تجريبية خارجية، فلا شيء يحول دون افتراض كائن ذي فكر خدم كما خدم فكرنا، وله مثلنا الأعضاء الحسية ذاتها وافتراض أنه، قد أودع عالماً لا يصله فيه الضوء إلاّ بعد أن يكون اخترق أوساطاً كاسرة معقدة الشكل، فقد لا يبقى عندئذ المؤشران اللذان نعتمدهما لتقدير المسافات، مرتبطين بعلاقة ثابتة.

والأرجح أن كائناً ما يتولّى تربية حواسه في مثل هذا العالم سيضيف إلى المكان البصري الكامل أربعة أبعاد.

المكان اللمسي والمكان الحركي ـ «المكان اللمسي» أشد تعقيداً من المكان البصري، وهو يختلف أكثر عن المكان الهندسي، وليس مما يُحتاج إليه أن أعيد بالنسبة إلى اللمس، ما كنت بينته بخصوص البصر.

إلاّ أنه توجد خارج معطيات النظر واللمس إحساسات أخرى تساهم ـ على قدر مساهمتهما أو أكثر ـ في تكوين مفهوم المكان، هي الإحساسات التي يعرفها الجميع وهي تقترن بكل حركاتنا ونسميها عادة إحساسات عضلية.

والإطار المتعلّق بتلك الإحساسات يشكل ما يمكن أن نسميه المكان الحركي.

إن كل عضلة تحدث إحساساً خاصاً يقبل الزيادة أو النقصان بحيث تصبح جملة احساساتنا العضلية مرتبطة بمتغيرات عددها على قدر ما لنا من عضلات. ومن وجهة النظر هذه، **يكون للمكان** [٨١]
الحركي من الأبعاد على قدر ما لنا من العضلات.

وأنا أعلم أنه سيقال: إذا ما ساهمت الإحساسات العضلية في تكوين مفهوم المكان، فانما ذلك بسبب ما لدينا من شعور باتجاه كل حركة. وهذا الشعور جزء لا يتجزأ من الإحساس. وإذا كان الأمر كذلك، أو قل إذا كان الاحساس العضلي لا ينشأ إلا مقترناً بذلك الشعور الهندسي بالاتجاه، كان المكان الهندسي يشكّل بالفعل صورة مفروضة على حساسيتنا.

وذلك ما لا أُدركه البتة عندما أحلّل أحاسيسي.

والرأي عندي أنّ الأحاسيس التي توافق حركات في اتجاه

واحد ترتبط في ذهني بحكم تداعي الأفكار وحده الذي إليه يعزى ما يسمى «بالشعور بالاتجاه» وبالتالي لا يمكن العثور على هذا الشعور في إحساس وحيد.

وذلك التداعي على غاية من التعقيد باعتبار أن تقلص عضلة واحدة يمكن ـ بحسب الوضع الذي تكون عليه الأعضاء ـ أن يتوافق مع حركات مختلفة الاتجاه تماماً.

ثم إنه من البديهي أنّ ذلك التداعي مكتسب إذ هو نتيجة تعوّد، مثله في ذلك مثل سائر تداعيات الأفكار. وتلك العادة ناتجة هي ذاتها عن تجارب كثيرة جداً. ولو تمت تربية حواسنا في وسط مغاير حيث نكون انفعلنا بانطباعات مغايرة لنشأت عن ذلك عادات مناقضة لتلك التي ألفناها ولترابطت إحساساتنا العضلية وفق قوانين أخرى.

خاصيات المكان التّصوري ـ وعلى هذا النحو يكون المكان التّصوّري في أشكاله الثلاثة، البصري واللمسي والحركي، مختلفاً كل الاختلاف عن المكان الهندسي.

فلا هو متجانس، ولا هو متماثل الأنحاء ولا نستطيع حتى القول بأنه ثلاثي الأبعاد.

[٨٢] وكثيراً ما نقول إننا «نُسقط» على المكان الهندسي موضوعات إدراكنا الحسي الخارجي، بمعنى أننا «نحيّزها».

فهل لما نقول من معنى؟ وأي معنى هو؟

هل يعني ذلك أننا نتصور الموضوعات الخارجية في المكان الهندسي؟

ليست تصوراتنا إلاّ إعادة إنتاج لإحساساتنا، وبالتالي لا يمكن حشرها إلا في الإطار ذاته الذي تحشر فيه الإحساسات أي المكان التصوّري.

ويستحيل علينا أيضاً أن نتصوّر الأجسام الخارجية في المكان الهندسي، بقدر ما يستحيل على الرسام أن يرسم الأشياء بأبعادها الثلاثة على لوحة مستوية.

فليس المكان التصوري إلا صورة من المكان الهندسي، وهو صورة مشوهة منه، بسبب ضرب من المنظور. ونحن لا نستطيع أن نتصور الأشياء إلاّ إذا أخضعناها لقانون ذلك المنظور.

وبالتالي فإننا **لا نتصور** الأجسام الخارجية في المكان الهندسي ولكننا **نتفكر فيها** وكأنما هي واقعة في المكان الهندسي.

وماذا نعني ـ من جهة أخرى ـ عندما نقول إننا نحيّزُ هذا الموضوع في تلك النقطة من المكان ؟

ذلك يعني ببساطة أننا نتصور الحركات التي علينا القيام بها لبلوغ ذلك الموضوع. ورجائي أن لا يقال لنا إنّ تصوّر تلك الحركات يتطلب إسقاطها هي ذاتها في المكان وبالتالي فإن الأمر يلزم بأن يوجد مفهوم المكان قَبْلياً.

وحين أقول إننا نتصور تلك الحركات، فإنما أعني بذلك أننا نتصور الإحساسات العضلية التي تصحبها، وهي إحساسات لا خاصية هندسية لها البتّة، وهي بالتالي لا تتضمن بأي حال من الأحوال وجود مفهوم المكان قَبْلياً.

تحولات الحال وتحولات الموقع ـ غير أنّ لقائل أن يقول: إذا لم تفرض فكرة المكان الهندسي نفسها على فكرنا، وإذا لم يكن ـ إضافة إلى ذلك ـ بمستطاع أي إحساس من إحساساتنا أن يهبنا إياها، فكيف استطاعت تلك الفكرة أن تنشأ؟ [٨٣]

ذلك ما علينا البحث فيه الآن. وهو أمر يتطلب بعض الوقت. ولكني سأوجز محاولة تفسير ذلك قبل التوسّع في الموضوع لاحقاً.

ما كان لأي إحساس من إحساساتنا أن يهدينا ـ بمفرده ـ إلى

فكرة المكان، وإنما اهتدينا إليها بدراسة القوانين التي تحكم تتالي تلك الاحساسات.

نحن ندرك أول الأمر أن احساساتنا يلحقها التغير ولكننا نساق مبكراً إلى التفريق بين الاحساسات التي نسجلها.

فنقول تارة إن الموضوعات التي هي علل تلك الانطباعات قد تغيرت حالتها، وتارة انها غيرت موقعها بمعنى أنها انتقلت من مكانها ليس إلاّ.

وأن تتغيّر حالة موضوع ما، أو أن يتغيّر موقعه وحده فذلك مما يترجم عندنا دائماً بطريقة واحدة أي بواسطة تحوير يطرأ على مجموعة من الانطباعات.

فكيف استطعنا إذاً الاهتداء إلى التفريق بينها؟ من السهل لنا فهم ذلك. فإذا لم يحدث إلاّ تحول في الموقع، أمكننا أن نعيد مجموع الانطباعات الابتدائية إلى وضعه، بواسطة القيام بحركات من شأنها أن تعيدنا ـ بالنظر إلى ذلك الموضوع المتحرك ـ إلى الموقع النسبي ذاته. وهكذا نصحح التحوير الحاصل ونعيد الوضع الابتدائي إلى نصابه، بإدخال تحوير مضاد.

فإذا ما تعلق الأمر بالبصر مثلاً واعتبرنا موضوعاً متحركاً أمام العين، كان بإمكاننا أن «نتبعه بالعين» ونحفظ صورته في نقطة واحدة من الشبكية، بتوسط تحريك المقلة حركة ملائمة.

ونحن نعي تلك الحركات لأنها إرادية ولأنها مقترنة بإحساسات عضلية، غير أن ذلك لا يعني أننا نتصورها في المكان الهندسي.

وبهذا التقدير يكون ما يختص به تحول الموقع ويميزه من تحول الحالة، أنه يمكن تصحيحه بهذه الواسطة. [٨٤]

وبالتالي فإنه يمكن الانتقال من مجموع الانطباعات A إلى المجموع B بطريقتين مختلفتين:

١ ـ لا إرادياً ومن غير شعور بإحساسات عضلية، وهو ما يحدث عندما يكون الموضوع هو الذي ينتقل.

٢ ـ إرادياً مع إحساسات عضلية، وهو ما يحدث عندما يكون الموضوع ساكناً، ونتحرك نحن بشكل يصبح به ذلك الموضوع متحركاً حركة نسبية.

وإذا كان الأمر كذلك فإن الانتقال من المجموع A إلى المجموع B لا يشكل إلاّ تغييراً في الموقع.

ويترتب عن ذلك أنه ما كان للبصر واللمس أن يعطيانا مفهوم المكان لولا مساعدة «الحاسة العضلية».

ولا يقتصر الأمر على أنه لا يمكن أن يُستمد ذلك المفهوم من إحساس وحيد، بل من متسلسلة من الإحساسات وإنما نضيف إليه أن كائناً ساكناً لا يستطيع تحصيله لأن عدم قدرته على أن يصحّح بحركاته آثار تحولات مواقع الأشياء الخارجية، يجعله لا يرى أي سبب يدعو إلى التفريق بينها، وبين تحولات الحالة، وما كان له كذلك أن يحصّل ذلك المفهوم، لو لم تكن حركاته إرادية أو لم تكن مقترنة بإحساسات ما.

شروط التعويض ـ كيف يكون مثل هذا التعويض ممكناً، بحيث يصحح أحد تحوّلين مستقلين الآخر؟

للفكر المتمرس سلفاً بالهندسة أن يتدبّر المسألة على النحو التالي:

يقتضي الأمر بداهة ـ لحدوث التعويض ـ أن تتلاقى ـ بعد التحوّل المزدوج ـ مختلف أجزاء الموضوع الخارجي من ناحية ومختلف أعضاء حواسنا من ناحية أخرى في الموقع النسبي ذاته.

ووجب ـ ليكون ذلك ممكناً ـ أن تحتفظ مختلف أجزاء

[٨٥] الموضوع الخارجي بمواقعها النسبية، وكذلك الشأن بالنسبة إلى مختلف أجزاء جسمنا بعضها إزاء البعض الآخر.

أو قل إن الأمر يقتضي أن يتحرك الموضوع الخارجي في التغيير الأول، كما يتحرك جسم صلب ثابت الشكل. وكذلك الشأن بالنسبة إلى جسدنا ككل في التحول الثاني الذي يصحح الأول.

ووفقاً لهذا الشرط يمكن أن يحدث التعويض.

أما نحن الذين لم نعرف الهندسة بعد فإنه لا يمكننا ـ بحكم أن فكرة المكان لم تحصل عندنا بعد ـ أن نستدل على هذا النحو ولا نستطيع أن نتوقع قبلياً ما إذا كان التعويض ممكناً، غير أن التجربة تكشف لنا أنه يحدث أحياناً، فننطلق من تلك الواقعة التجريبية لنفرق بين تحولات الحالة وتحولات الموقع.

الأجسام الصلبة والهندسة ـ في محيطنا أشياء كثيراً ما تلحقها إزاحات قابلة للتصحيح على ذلك النحو، بتوسط تحريك أجسادنا حركة مرتبطة بتلك الإزاحات. إنها الأجسام الصلبة.

أما بقية الأشياء متغيرة الشكل، فلا تلحقها تلك الإزاحات (تغير الموقع من دون تشويه) إلا نادراً. فعندما ينتقل جسم مع تشويه يلحقه لن نستطيع ـ بتوسط حركات ملائمة ـ أن نعيد أعضاء حواسنا إلى الوضع النسبي ذاته الذي كانت عليه بالقياس إلى ذلك الجسم، ولن يتهيأ لنا بالتالي استعادة مجموعة الانطباعات الأولية.

ولا نتمرس إلاّ لاحقاً وعلى إثر تجارب عديدة، بتحليل الأجسام المتغيرة الشكل إلى عناصر أصغر، بحيث ينتقل كل واحد منها وفق القوانين ذاتها التي تتحرك بمقتضاها الأجسام الصلبة. وهكذا نفرّق بين «التشويهات» وبقية أشكال تبدّل الحالة الأخرى، حيث لا يلحق كلّ عنصر خلال هذه التشويهات، إلا تحول في

الموقع يمكن تصحيحه. أما التحوير الطارئ على المجموع فهو أعمق، ولا يتأتى تصحيحه بواسطة حركة ارتباطية. [٨٦]

إن مثل ذلك المفهوم معقد جداً، ولم يتهيّأ له الظهور إلا بشكل متأخر نسبياً، فضلاً عن أنّه ما كان لينشأ لو لم تعلّمنا ملاحظة الأجسام، تَبيُّن التبدّل في الموقع.

فلو لم توجد في الطبيعة أجسام صلبة لما وجدت الهندسة.

وثمة ملاحظة أخرى جديرة هي أيضاً بأن نتوقف عندها لحظة. لنفترض جسماً صلباً يحتل في البداية الموقع α ثم ينتقل في ما بعد إلى الموقع β. سيجعلنا في موقعه الأوّل نتقبّل منه مجموع الإحساسات A وفي موقعه الثاني المجموع B. لنفترض الآن جسماً صلباً ثانياً، مختلفَ الخصائص تماماً عن الجسم الأوّل، كأن يكون مختلف اللون. ولنفترض ـ إضافة إلى ذلك ـ أنه ينتقل من الموقع α حيث يترك فينا مجموعة الانطباعات A' ثم إلى الموقع β حيث يترك فينا مجموعة الانطباعات B'.

لن يوجد بوجه عام أي شيء مشترك بين المجموعة A والمجموعة A' ولا بين المجموعة B والمجموعة B'. فالانتقال من المجموعة A إلى المجموعة B والانتقال من المجموعة A' إلى المجموعة B' يمثلان إذاً تغييرين لا يشتركان بالذات في أي شيء على وجه العموم.

ومع ذلك فإننا نعتبر هذين التغييرين بمثابة انتقالين بل إننا نعتبرهما بمثابة انتقال واحد. فكيف كان ذلك؟

يعزى السبب في ذلك ببساطة إلى إمكان تصحيح كل من التغييرين بتوسط تحريك جسدنا حركة ارتباطية.

«فالحركة الارتباطية» إذاً هي التي تشكل الرابط الوحيد بين ظاهرتين، ما كان لنا من دونه أن نفكر في التقريب بينهما.

وبمستطاع جسدنا من ناحية أخرى، أن يقوم - بفضل ما له من مفاصل وعضلات عديدة - بحركات كثيرة مختلفة، ولكن ليس

[٨٧] بمستطاع جميع تلك الحركات أن "تصحّح" التحوير الطارئ على الموضوعات الخارجية، بل لا يتاح ذلك إلا للحركات التي يكون فيها جسمنا أو - على الأقل - جميع أعضاء حواسنا المعنية قد انتقلت من دون أن تتبدّل أوضاعها النسبية، وذلك على غرار ما ينتقل الجسم الصلب.

وباختصار أقول:

١ - ننتهي بادئ ذي بدء إلى التفريق بين صنفين من الظواهر:

- منها اللاإرادية وغير المقترنة بإحساسات عضلية. ونحن نعزوها إلى العالم الخارجي، وتلك هي التحوّلات الخارجية.

- الظواهر الأخرى لها خاصيات مناقضة لخاصيات الصنف الأول، ونحن نعزوها إلى حركات جسدنا الذاتية وهي التحوّلات الداخلية.

٢ - نلاحظ أن بعض التحوّلات في كل من هذين الصنفين يمكن تصحيحه بواسطة حركة ارتباطية يقوم بها الصنف الآخر.

٣ - نميز في إطار التحوّلات الخارجية تلك التي لها ما يقابلها في الصنف الآخر، وهي التي نسميها إزاحات. ونميز كذلك في إطار التغييرات الداخلية تلك التي لها ما يقابلها في الصنف الأوّل.

وهكذا يتم - بفضل ذلك التبادل - تعريف قسم خاص من الظواهر نسميها انتقالات. **وقوانين تلك الظواهر هي التي تشكل موضوع الهندسة.**

قانون التجانس - وأوّل تلك القوانين هو قانون التجانس.

لنفترض أننا انتقلنا بتوسط تحوّل خارجي α من مجموعة الانطباعات A إلى مجموعة الانطباعات B، ثم لنفترض أن هذا التحوّل α وقع تصحيحه بحركة مقابلة β بحيث نكون عدنا إلى المجموعة A.

لنفترض الآن أن تحوّلاً خارجياً آخر ′α يجعلنا ننتقل من جديد من المجموعة A إلى المجموعة B.

عندئذ ندرك تجريبياً أن ذلك التحوّل ′α يمكن أن يصحّح ٨٨]
كما صحّح التحوّل α بحركة مقابلة إرادية ′β، وأن تلك الحركة ′β توافق الإحساسات العضلية ذاتها التي اقترنت بالحركة التي B صحّحت التحوّل α.

تلك هي الواقعة التي نصوغها عادة عندما نقول إن **المكان متجانس ومتماثل الأنحاء**.

ويمكن القول أيضاً إنه إذا ما حدثت مرة حركةٌ أمكن أن تحدث مرة ثانية وثالثة، وهكذا دواليك من دون أن تتبدل خصائصها.

وقد سبق أن رأينا في الفصل الأول، حيث درسنا طبيعة الاستدلال الرياضي، الأهمية التي ينبغي إيلاؤها إلى إمكان تكرار عملية بذاتها تكراراً لا متناهياً.

والاستدلال الرياضي إنما يستمد قوته من ذلك التكرار وبالتالي فإن الفضل في تأثيره على الوقائع الهندسية، يُعزى إلى قانون التجانس.

ويجدر بنا ـ استيفاءً للمسألة ـ أن نضيف إلى قانون التجانس طائفة من القوانين الأخرى المماثلة التي لا أريد أن أدخل في جزئياتها فالرياضي يوجزها في كلمة حين يقول إن الازاحات تشكل «زمرة».

العالم اللاإقليدي ـ لو كان المكان الهندسي إطاراً مفروضاً على كل تصور من تصوراتنا لاستحال تمثُل صورة منزوعة من ذلك الإطار، ولما استطعنا تغيير أي شيء من هندستنا.

ولكن الأمر لا يجري على ذلك النحو، وما الهندسة إلا اختزال للقوانين التي تحكم تتالي تلك الصور. فليس ثمة إذًا ما يحول دون تخيل متسلسلة من الصور الشبيهة من كل الوجوه بتصوراتنا العادية، ولكنها صور تتوالى وفقاً لقوانين مختلفة عن تلك التي ألفناها.

وعندها نستسيغ أن تتوفر لدى كائنات تمت تنشئتها في وسط تبلبلت فيه تلك القوانين على ذلك النحو، هندسةٌ مختلفة عن هندستنا اختلافاً كلياً.

[٨٩] لنفترض على سبيل المثال عالماً انطوت عليه كرة كبيرة وخضع للقوانين التالية:

ـ الحرارة لا تكون فيه منتظمة، فهي قصوى في الوسط ثم تنخفض على قدر ما نبتعد عنه حتى تنزل إلى الصفر المطلق عند بلوغ حدّ الكرة التي ضمّت ذلك العالم.

وأدقّق أكثر القانون الذي تتغير بمقتضاه تلك الحرارة. لنأخذ R شعاعاً للكرة الحدّ. ولنأخذ r مسافة فاصلة بين النقطة المعتبرة ومركز تلك الكرة فستكون الحرارة المطلقة عندها متناسبة مع R^2-r^2.

ـ وأفترض ـ إضافة إلى ذلك ـ أن كل الأجسام في ذلك العالم لها معامل تمدد واحد، بحيث يكون طول مسطرة ما متناسباً مع حرارتها المطلقة.

ـ وأفترض أخيراً أن الشيء المنقول من نقطة إلى أخرى درجة حرارتها مختلفة عن الأولى يتوازن حرارياً مع وسطه الجديد توازناً مباشراً.

ولا وجود في هذه الافتراضات لشيء متناقض أو غير قابل للتخيل.

عندئذ يصبح الشيء المتحرك أصغر فأصغر بقدر ما يقترب من الكرة الحد.

ولنلاحظ بادئ الأمر، أنه لئن كان هذا العالم عالماً محدوداً من وجهة نظر هندستنا العادية فإنه سيبدو لساكنيه لامتناهياً.

وفعلاً عندما يريد هؤلاء السكّان أن يقتربوا من حدّ الكرة، فإنهم يبردون ويصيرون أصغر فأصغر، وبالتالي فإن خطواتهم تصير هي أيضاً أصغر فأصغر، بحيث لن يستطيعوا البتّة بلوغ ذلك الحد.

فلئن لم تكن الهندسة عندنا إلا دراسة القوانين التي تحكم حركة الأجسام الصلبة الثابتة فهي عند هذه الكائنات الخيالية دراسة القوانين التي تحكم حركة أجسام صلبة **تشوهها هذه الفوارق الحرارية** التي كنت أتحدث عنها.

والأرجح أن الأجسام الصلبة الطبيعية في عالمنا، تلحقها تغييرات في الشكل والحجم نتيجة التسخين أو التبريد، إلاّ أننا [٩٠]
نهمل تلك التغييرات عند وضع أسس الهندسة باعتبار أنها ـ إضافةً إلى كونها ضعيفة جداً ـ فهي غير منتظمة، وتبدو لنا ـ نتيجة لذلك ـ عرضية.

أما في ذلك العالم الافتراضي، فلن يكون الأمر على ذلك النحو، بل ستخضع تلك التغييرات إلى قوانين رتيبة، غاية في البساطة.

ومن ناحية أخرى، فإن مختلف الأجزاء الصلبة التي تكوّنت منها أجساد متساكني ذلك العالم الافتراضي، ستلحقها هي أيضا التغييرات ذاتها في الشكل والحجم.

وسأضع أيضا فرضيةً أخرى. سأفترض أن الضوء يخترق

أوساطاً كاسرة بدرجات متفاوتة، بحيث يكون معامل الانكسار متناسباً عكساً مع R^2-r^2 فمن اليسير علينا أن ندرك أن الأشعة الضوئية لن تكون ـ ضمن هذه الشروط ـ مستقيمة بل مستديرة.

ويقتضي مني تبرير ما سبق، أن أبيّن أن بعض التغييرات الطارئة على موقع الأشياء الخارجية يمكن تصحيحها بتوسط حركات ارتباطية تقوم بها الكائنات الحاسة التي تسكن ذلك العالم التخيلي، وذلك بشكل يمكّن من استرجاع المجموعة الابتدائية من الانطباعات التي انفعلت بها تلك الكائنات الحاسة.

لنفترض فعلاً أن شيئاً ما ينزاح ويتشوه، لا كما يتشوه جسم صلب ثابت الشكل، بل كما يتشوه جسم صلب تلحقه تمدّدات لا متساوية، وفق ما يقتضيه تماماً قانون الحرارة الذي افترضته سابقاً.

وليسمح لي ـ اختصاراً في القول ـ أن أسمّي هذا الضرب من الحركة **إزاحة لا إقليدية**.

فإذا ما وجد بالجوار كائن حاس فستتحوّر انطباعاته بانتقال ذلك الشيء، ولكنه يستطيع استعادة حالتها الأولى، بأن يتحرك هو نفسه حركة ملائمة. ويكفي أخيراً أن تكون المجموعة المتكونة من ذلك الشيء ومن هذا الكائن الحاس ـ باعتبارها تشكل جسماً واحداً ـ قد انفعلت بإحدى تلك الإزاحات الخاصة التي كنت سميتها لا إقليدية. وذلك أمر ممكن إذا افترضنا أن أعضاء تلك الكائنات تتمدد بمقتضى القانون ذاته الذي يحكم تمدد بقية أجسام العالم الذي تسكنه.

ولئن كانت الأجسام من وجهة نظر هندستنا العادية قد تشوهت خلال تلك الإزاحة، ولم تعد أجزاؤها المختلفة في الوضع النسبي ذاته الذي كانت عليه، فإننا سنرى ـ على الرغم من ذلك ـ أن انطباعات الكائن الحاس قد عادت إلى سالف نصابها. [٩١]

وفعلاً، إذا كانت المسافات الرابطة بين مختلف الأجزاء قد

تغيرت، فإن الأجزاء التي كانت متماسّة ابتدائياً، ستتماس من جديد، وهكذا لم تتغيّر الانطباعات اللمسية.

وإذا ما أخذنا في الحسبان من ناحية أخرى الافتراض الذي سبق أن وضعناه بخصوص انحناء الأشعة الضوئية وانكسارها، فإن الانطباعات البصرية ستبقى هي أيضاً على ما هي عليه.

وهكذا فإن تلك الكائنات التخيلية ستنتهي مثلنا إلى تصنيف الظواهر التي تشهدها وإلى أن تميز من بينها «تحوّلات الموقع» القابلة للتصحيح بواسطة حركة إرادية ارتباطية.

وإذا ما أسست تلك الكائنات هندسة فلن تعنى ـ مثل هندستنا ـ بدراسة حركات الأجسام الصلبة الثابتة، بل بدراسة تحوّلات الموقع التي تكون قد ميزتها. ولا تكون الإزاحات إلا «إزاحات لاإقليدية» وستكون هندستها لا إقليدية.

وعلى هذا الأساس، قد لا يكون لكائنات شبيهة بنا، نشأت في عالم شبيه بذاك العالم، هندسة مثل هندستنا.

العالم الرباعي البعد ـ يمكننا تصور عالم رباعي البعد على غرار ما استطعنا تصور عالم لاإقليدي.

قد تكون حاسة البصر ـ ولو بعين واحدة ـ عند اقترانها بالإحساسات العضلية المتعلقة بحركات المقلة ـ كافيةً لاكتشاف المكان الثلاثي البعد.

تنطبع صور الأشياء الخارجية على الشبكية ـ وهي لوحة ذات بعدين ـ وتلك الصور هي **المنظورات**.

غير أنه لما كانت تلك الأشياء متحركة، وكذلك الشأن بالنسبة إلى عيوننا، فإننا نرى على التوالي، منظورات مختلفة من [٩٢]
جسم واحد أُخذت من وجهات نظر مختلفة.

ونحن نلمس في الوقت نفسه أن الانتقال من منظور إلى آخر، غالباً ما يقترن بأحاسيس عضلية.

فإذا ما اقترن الانتقال من المنظور A إلى المنظور B ومن المنظور A' إلى المنظور B' بإحساسات عضلية، قاربنا بين الانتقالين باعتبارهما عمليتين من طبيعة واحدة.

ثم إننا نعلم بعد دراسة قوانين توافق تلك العمليات، أنها تشكل زمرة بنيتها مماثلة لبنية حركات الأجسام الصلبة الثابتة الشكل.

وقد رأينا أن مفهومي المكان الهندسي، والأبعاد الثلاثة استُمِدّا من خصائص تلك الزمرة.

وهكذا ندرك كيف أمكن لفكرة المكان الثلاثي البعد أن تنشأ، انطلاقاً من مشهد تلك المنظورات، على الرغم من أنه ليس لكل واحد منها أكثر من بعدين، بحكم **أنها تتوالى وفقاً لقوانين** بعينها.

ومثلما نستطيع أن نرسم على مستوٍ، منظورَ شكل ثلاثي البعد، يمكننا أيضا رسم منظور رباعي البعد على لوحة ثلاثية البعد (أو ثنائية البعد)، وما ذلك على المهندس بعزيز.

بل يمكننا أن نرسم عدة منظورات لشكل واحد يؤخذ من وجهات نظر مختلفة.

ويمكننا أن نتصور بيسر تلك المنظورات لأنها لا تملك إلا أبعاداً ثلاثة.

لنتخيل أن مختلف منظورات من شيء واحد تتتالى، وأن الانتقال من أحدها إلى الآخر، يقترن بأحاسيس عضلية.

وسنعتبر ـ من دون شك ـ أن انتقالين ـ من بين هذه الانتقالات ـ تم صحبهما الأحاسيس العضلية الواحدة هما عمليتان من نوع واحد.

ولن يوجد عندئذ ما يحول دون تخيل أن تلك العمليات تتوافق بحسب أي قانون شئنا، كأن تتوافق بشكل يجعلها تشكل [٩٣] زمرة تتماهى بنيتها مع بنية حركات جسم صلب ثابت الشكل رباعي البعد.

ولئن لم يكن ثمة ها هنا من شيء يمتنع تصوره، فان تلك الاحساسات هي ـ تدقيقاً ـ الإحساسات التي ينفعل بها كائن له شبكية ذات بعدين ويستطيع التنقل في المكان رباعي البعد.

ذلك هو المعنى الذي يُحمل عليه ما يمكن أن تذهب إليه عندما نقول إنه باستطاعتنا تصور البعد الرابع.

ولا يمكننا أن نتصور بتلك الطريقة المكان الذي قال به السيد هيلبرت (Hilbert) وقد تحدثنا عنه في الفصل السابق، لأن ذلك المكان لا يُشكل إلا متصلاً من الرتبة الثانية، لذلك كان مختلفاً كل الاختلاف عن مكاننا العادي.

خلاصات . نلمس أن التجربة تلعب دوراً متأكداً في نشأة الهندسة، ولكن من الخطأ أن نخلص من ذلك إلى أنها علم تجريبي ولو جزئياً.

ولو كانت الهندسة تجريبية لما كانت إلاّ تقريبية ومؤقتة. ويا له من تقريب فج!

فما هي إلاّ دراسة حركات الأجسام الصلبة، غير أنها لا تعنى في الحقيقة بالأجسام الطبيعية، بل إنها تتناول بعض الأجسام الصلبة المثالية اللامتغيرة بإطلاق، تلك التي لا تكون الأجسام الطبيعية منها، إلا بمثابة الصورة المبسطة الباهتة.

ومفهوم تلك الأجسام المثالية مستمد كلياً من فكرنا، بحيث لا تكون التجربة إلا مناسبة تدفعنا إلى استخراجها منه.

وحقيقة موضوع الهندسة إنما هو دراسة "زمرة" خاصة. إلا

أن المفهوم العام للزمرة موجود سلفاً في الفكر على الأقل على جهة الوجود بالقوة، فهو يفرض نفسه علينا لا باعتباره الصورة لحساسيتنا بل باعتباره صورة من صور ذهننا.

إلا أنه علينا أن نختار من بين كل الزمر الممكنة تلك التي ستؤخذ معياراً إليه تضاف الظواهر الطبيعية.

[٩٤] والتجربة تهدينا في هذا الاختيار من دون أن تفرضه علينا، وهي لا توقفنا على الهندسة الأصحّ من غيرها، بل الأكثر ملاءمة لنا.

وللقارئ أن يلاحظ أني وُفقت إلى وصف العوالم التوهمية التي سبق أن تخيلتها، **من دون أن أتوقف عن استخدام لغة الهندسة العادية.**

ولو قدّر لنا أن ننقل إلى تلك العوالم فلن يكون علينا فعلاً تغيير تلك اللغة.

والأقرب إلى الحق أن الكائنات التي تنشأ فيها ستعتبر أن ما يُلائمها أكثر هو أن تبدع هندسة مختلفة عن هندستنا، وتكون متكيفة بشكل أفضل مع انطباعاتها. أما نحن فيقيني أننا سنعتبر أن ما يلائمنا أكثر حين نواجه الاحساسات ذاتها، هو أن لا نغير عاداتنا.

الفصل الخامس

التجربة والهندسة

أولاً: كنت اجتهدت المرار العديدة في الصفحات السابقة، [٩٥]
في بيان أن مبادئ الهندسة ليست وقائع تجريبية، وأن مصادرة إقليدس خاصة، لا يمكن أن يقوم عليها البرهان تجريبياً.

ومهما بدا لي ما قدّمت من الأدلة قاطعاً، فإني أميل إلى وجوب التأكيد على ذلك الأمر، إذ توجد ها هنا فكرة خاطئة استحكمت عند الكثير.

ثانياً: لننجز دائرة مادية، ولنقس شعاعها ومحيطها، ولننظر في ما إذا كانت العلاقة بين هذين الطولين مساوية[١] للعدد π، فما حقيقة ما فعلنا ؟ لا نكون أجرينا تجربة على خاصيات المكان، بل على خاصيات المادة التي أنجزنا بها ذلك الشيء المدوّر، وعلى خاصيات المادة التي صنع منها المتر الذي استعملناه للقيس.

ثالثاً: **الهندسة وعلم الفلك** ـ لقد طرح ذلك السؤال أيضاً

---

(١) يبدو أن خطأً تسرب إلى النص الأصلي فوُضع II عوض II ٢، باعتبار أن: $2 = \frac{2\Pi 2}{\Gamma} = \Gamma$ كما هو معلوم (المترجم).

بأسلوب آخر. فإذا كانت هندسة لوباتشفسكي صحيحة فسيكون اختلاف المنظر la parallaxe بالنسبة إلى نجم غاية في البعد، متناهياً، وإذا كانت هندسة ريمان صحيحة، فإنه سيكون سالباً. تلك نتائج تبدو في متناول التجربة، وقد راود البعض الأمل في أن تمكّن الأرصاد الفلكية من الحسم بين الهندسات الثلاث.

ولكنّ ما نسميه ـ في علم الفلك ـ خطاً مستقيماً إنما هو مسار الشعاع الضوئي. فلو توصلنا إلى الكشف عن اختلافات منظر
[٩٦] سالبة، أو إلى البرهنة على أن كل ضروب اختلاف المنظر أكبر من حدّ ما، لكان لنا أن نختار بين استنتاجين: فإما أن نتخلّى عن الهندسة الإقليدية، وإما أن نغير قوانين البصريات ونسلم بأن الضوء لا ينتشر تدقيقاً على خط مستقيم.

ولا تدعو الحاجة إلى أن أضيف أن الجميع سيعتبرون هذا الحل أفضل.

وبالتّالي فليس للهندسة الإقليدية ما تخشاه من جراء تجارب جديدة.

رابعاً: هل لنا أن نذهب إلى أن بعض الظواهر الممكن حدوثها في المكان الإقليدي قد تصبح مستحيلة في المكان اللاإقليدي، بحيث تناقض التجربة ـ بالوقوف على تلك الظواهر ـ الفرضية اللاإقليدية مناقضةً مباشرة؟ ليس لمثل هذا السؤال ـ في تقديري ـ أن يُطرح لأنه يضاهي ـ عندي ـ تماماً السؤال التالي الذي لا يخفى على أحد ما ينطوي عليه من السخف وهو: هل توجد أطوال يمكن التعبير عنها بالمتر والسانتيمتر، ولكن لا يمكن التعبير عنها بالقامة والقدم والبوصة، بحيث تناقض التجربة مباشرة ـ عند وقوفها على وجود هذه الأطوال ـ فرضية وجود قامات تنقسم إلى ستة أقدام؟

لنمعن النظر في هذه المسألة: سأفترض أن للخطّ المستقيم في المكان الإقليدي خاصّيتين اسماهما A وB وأنه يحتفظ في المكان اللاإقليدي بالخاصية A دون B. وسأفترض أخيراً أن الخط المستقيم هو الخط الوحيد الذي يمتلك الخاصية A في كلا المكانين.

لو كان الأمر كذلك لكانت التجربة مؤهلة للحسم بين فرضية إقليدس وفرضية لوباتشفسكي، ولعاينا أن لشيء ما محسوس تطوله التجربة، حزيمة أشعة ضوئية مثلاً، الخاصية A فنجزم أنه مستقيم ثم نحاول بعدئذ أن نعرف هل يمتلك الخاصية B أم لا؟

غير أن الأمر لا يجري على ذلك النحو إذ لا توجد خاصية مثل الخاصية A يمكن أن تعتمد معياراً مطلقاً يسمح بالتعرف على [٩٧]
الخط المستقيم وبتمييزه من سواه من الخطوط.

هل لقائل على سبيل المثال أن يقول: «إن تلك الخاصية ستكون التالية: الخط المستقيم خط خاصيته أنّ شكلاً ما يكون ذلك الخط جزءاً منه، لا يمكنه أن يتحرك من دون أن تتبدّل المسافات المشتركة بين نقاطه بحيث تبقى جميع نقاط ذلك الخطّ ثابتة؟».

تلك هي فعلاً خاصية ينفرد بها الخط المستقيم، سواء في المكان الإقليدي أو المكان اللاإقليدي. ولكن كيف لنا أن نتبيّن تجريبياً هل تلك الخاصية تنتمي لهذا الشيء العياني أو ذاك؟ يقتضي الأمر أن نقيس المسافات. وكيف تتسنى لي معرفة أن عظماً محسوساً كنت قسته بأداتي المادية، يمثل حقاً المسافة المجردة؟ فلم نذهب إلى أبعد من تأجيل حل الإشكال.

والحق أن الخاصية التي صغتها الساعة، ليست خاصيّة ينفرد بها الخط المستقيم، بل هي خاصية الخط المستقيم والمسافة أيضاً.

ولكي تعتمد تلك الخاصية معياراً مطلقاً، وجب ألاّ نكتفي ببيان أن خطاً آخر غير الخط المستقيم والمسافة، ليست لهما تلك الخاصيّة، بل وجب كذلك بيان أن خطاً آخر غير الخط المستقيم وعظماً آخر غير المسافة ليست لهما تلك الخاصية، والحال أن ذلك غير صحيح.

يستحيل علينا إذاً أن نتخيّل تجربة محسوسة يمكن ترجمتها في نسق إقليدس من دون نسق لوباتشفسكي، حتى إنه يمكن لي أن أستنتج ما يلي:

ما من تجربة البتة تتناقض مع مصادرة إقليدس. وما من تجربة البتة - في مقابل ذلك - تتناقض مع مصادرة لوباتشفسكي.

خامساً: غير أنه لا يكفي أن لا تناقض التجربة البتة الهندسة الإقليدية (أو اللاإقليدية) مناقضة مباشرة. أليس من المحتمل أن لا تتطابق تلك الهندسة مع التجربة إلا بالتعسف على مبدأ العلة الكافية ومبدأ نسبية المكان؟

[٩٨] أوضّح رأيي، ولنعتبر كياناً مادياً ما. علينا أن ننظر من ناحية في: «حالة» مختلف الأجسام التي يتكون منها ذلك الكيان (مثل حرارتها، وكمونها الكهربائي الخ...) ومن ناحية أخرى في موقعها من المكان. ونميز كذلك - ضمن المعطيات التي تمكّن من تعريف ذلك الموقع - المسافات المشتركة بين تلك الأجسام، وهي المسافات التي تحدد مواقعها النسبية، ونميز الشروط التي تحدد موقع الكيان واتجاهه المطلقين في المكان.

فالقوانين المتحكمة في الظواهر التي تحدث داخل ذلك الكيان، يمكن أن ترتبط بحالة تلك الأجسام مسافاتها البينية، ولكنها لن ترتبط - بحكم نسبية المكان وعطالته - بموقع الكيان واتجاهه المطلقين.

وبتعبير آخر نقول إن حالة الأجسام والمسافات المشتركة بينها في آنٍ ما، لا ترتبط إلاّ بحالة تلك الأجسام نفسها ومسافاتها المشتركة عند الآن الابتدائي، ولكنها لا ترتبط البتة بموقع الكيان واتجاهه المطلقين الابتدائيين. ذلك ما يمكنني أن أسميه على جهة الاختصار بقانون النسبية.

تحدثت حتى الآن كما يتحدث مهندس إقليدي ولكن التجربة ـ كان أمرها ما كان ـ تتضمن ـ تأويلاً إقليدياً ـ كما سبق أن قلت، ولكنها تتضمّن أيضاً تأويلاً وفقاً للفرضية اللاإقليدية. ثم إننا أجرينا مجموعة من التجارب وأوّلناها حسبما تقتضيه الفرضية الإقليدية وتعرفنا على أن تأويل تلك التجارب على هذا النحو لا تعسف فيه على «قانون النسبية».

ونؤوّل الآن تلك التجارب حسبما تقتضيه الفرضية اللاإقليدية وهو أمر متاح لنا على الدوام. غير أن المسافات اللاإقليدية بين مختلف الأجسام في هذا التأويل الجديد، لن تكون بوجه عام متماهية مثلما كانت المسافات الإقليدية متماهية عند التأويل الأول.

[٩٩] فهل ستظل تجاربنا حين نؤوّلها بهذه الطريقة الجديدة متطابقة دائماً مع «قانون النسبية»؟ وإذا لم يحدث ذلك التطابق، ألا يكون من حقنا دائماً أن نقول إن التجربة بينت خطأ الهندسة اللاإقليدية؟

من اليسير علينا إدراك أن ذلك التخوّف في غير محله، إذ يقتضي إمكان تطبيق قانون النسبية بدقة تطبيقه على الكون برمته، لأنه إذا ما اقتصرنا على اعتبار جزء من الكون، وإذا ما اتفق أن تغير الموقع المطلق لذلك الجزء، فستتغيّر بدورها المسافات التي تفصله عن بقية أجزاء الكون، وبالتالي فإن تأثيرها في الجزء المعتبر من الكون، يمكن أن يزداد أو ينقص، وهو ما قد يحوّر قوانين الظواهر التي تحدث فيه.

أما إذا كان الكيان المعتبر هو الكون برمته، فستكون التجربة عاجزة عن إخبارنا عن موقعه واتجاهه المطلقين في المكان، وأقصى ما تتيح لنا أدواتنا ـ مهما كانت جودتها ـ معرفته إنما هو حالة أجزاء الكون المتنوعة والمسافات المشتركة بينها.

وبهذا التقدير يمكن أن يصاغ قانون النسبية على النحو التالي:

إن ما نستطيع قراءته على أدواتنا في آن ما لا يتبع إلاّ ما كان بإمكاننا أن نقرأه في الآن الابتدائي.

ومن البديهي أن هذه الصياغة مستقلة عن كل تأويل تجريبي. فإذا كان القانون صحيحاً في إطار التأويل الإقليدي كان كذلك صحيحاً في إطار التأويل اللاإقليدي.

وليؤذن لي ها هنا ببعض الاستطراد. كنت تحدثت سابقاً عن المعطيات التي تحدد موقع مختلف أجسام كيان ما. وكان عليّ أن أتحدث أيضاً عن المعطيات التي تحدد سرعاتها، وهو ما كان من شأنه أن يتيح لي التفريق بين السرعة التي تتغير بها المسافات المشتركة بين مختلف الأجسام من ناحية، وسرعتي نقلة الكيان ودورانه من ناحية أخرى، وأعني بهما السرعتين اللتين يتغير بهما موقع الكيان واتجاهه المطلقان.

[١٠٠] وليطمئن الفكر الاطمئنان كله، كان الأمر يقتضي أن تكون صياغة قانون النسبية على النحو التالي ممكنة:

إن حالة الأجسام ومسافاتها البينية في آن ما، وكذلك سرعات تغير تلك المسافات في ذلك الآن ذاته، لا تتبع الا حالة تلك الأجسام ومسافاتها البينية في الآن الابتدائي، وكذلك سرعات تغير تلك المسافات في ذلك الآن الابتدائي، ولكنها لا تتبع لا الموقع المطلق للكيان، ولا اتجاهه المطلق، ولا سرعات تغير ذلك الموقع وذلك الاتجاه المطلقين في الآن الابتدائي.

وما يؤسف له أن القانون في صياغته تلك لا يتلاءم مع التجارب ـ على الأقلّ ـ كما تعودنا تأويلها.

لننقل إنساناً إلى كوكب تكون سماؤه مغشاة باستمرار بغشاء سميك من السحب، بحيث لا يمكننا البتة رؤية الكواكب الأخرى، فسيعيش على سطحه وكأنما هو كوكب منعزل في المكان. غير أنه بإمكان ذلك الإنسان أن يدرك أن كوكبه يدور، إما بواسطة قيس التسطيح (وهو ما نفعله عادة مستعينين بأرصاد فلكية، ولكن يمكننا القيام بذلك بوسائل جيوديزية)، وإمّا بإعادة تجربة رقاص ساعة فوكو (Foucault). وعندها يمكن الوقوف بوضوح على دوران ذلك الكوكب دوراناً مطلقاً.

وثمة ها هنا واقعة تصدم الفيلسوف وإن كان الفيزيائي مكرهاً على التسليم بها.

فنحن نعلم أن نيوتن (Newton) خلص من تلك الواقعة إلى القول بوجود المكان المطلق. ولا يمكنني بحال من الأحوال أن أتبنى وجهة النظر هذه، وسأشرح سبب ذلك في الجزء الثالث. أما الآن فلا أريد إثارة ذلك الإشكال.

لذلك كان عليّ أن أكتفي مكرهاً في صياغة قانون النسبية بالخلط بين كل ضروب السرعة ضمن المعطيات التي تحدد حالة الأجسام.

ومهما يكن من أمر فإن هندسة إقليدس وهندسة لوباتشفسكي
تواجهان الإشكال نفسه، لذلك لم أنزعج منه ولم أتحدث عنه إلاّ [١٠١]
عرضاً.

فما يعنينا إنما هو الاستنتاج التالي: ليس للتجربة أن تحسم بين إقليدس ولوباتشفسكي.

وأقول باختصار إنه مهما قلّبنا الأمر على وجوهه فلن نعثر على معنى رصين نضفيه على الإمبيريقية الهندسية.

سادساً: لا توقفنا التجارب إلا على علاقات الأجسام في ما بينها، ولا تستند أي منها إلى علاقات الأجسام بالمكان، أو إلى العلاقات المتبادلة بين مختلف أجزاء المكان، ولا يتهيأ لها شيء من ذلك.

«وقد يجاب عن ذلك بأن تجربة وحيدة غير كافية لأنها لا تعطيني إلا معادلة واحدة تحتوي مجاهيل عديدة. فإذا ما تهيأ لي أن أجري ما يكفي من التجارب، فسأحصل على ما يكفي من المعادلات لمعرفة جميع المجاهيل».

إن معرفة ارتفاع صاري السفينة لا تكفي لمعرفة سنّ الربّان. وقد يتاح لك أن تقيس جميع القطع الخشبية التي تتكون منها السفينة فتحصل على معادلات كثيرة من دون أن تعرف سن الربان معرفة أفضل، لأن جميع قياساتك المتعلقة بالقطع الخشبية لا يمكنها أن تكشف لك إلا ما يتصل بتلك القطع الخشبية. وكذلك الشأن بالنسبة إلى تجاربك مهما تكاثرت، إذ ما دامت لا تتجاوز علاقات الأجسام في ما بينها، فهي لا تكشف لنا عن أي شيء يخص العلاقات المتبادلة بين مختلف أجزاء المكان.

سابعاً: هل ستقول إنه إذا ما تعلقت التجارب بالأجسام فستتعلق على أية حال بخاصياتها الهندسية؟

وماذا تعني قبل كل شيء بخاصيات الأجسام الهندسية؟

أفترض أن الأمر يدور على معنى علاقات الأجسام بالمكان وبالتالي فإن تلك الخاصيات لا تكون في متناول التجارب التي لا تستند إلا إلى علاقات الأجسام في ما بينها، ولعلّ في ذلك ما يكفي لبيان أن المسألة لا تتعلّق بتلك الخاصيات الهندسية.

ومع ذلك لنبدأ بالاتفاق على معنى عبارة الخصائص الهندسية للأجسام هذه. فعندما أقول إنّ الجسم مركب من عدة أجزاء فإني [١٠٢] أفترض أني أصوغ بذلك خاصية هندسية، وتبقى تلك الصياغة صحيحة، حتى إذا ما أضفيت على أصغر الأجزاء التي أنظر فيها اسم نقاط، وهي تسمية غير ملائمة.

وعندما أقول إن هذا الجزء من هذا الجسم يماسُّ ذلك الجزء من ذلك الجسم، فإني أصوغ قضية تتصل بالعلاقات المتبادلة بين هذين الجسمين، لا بالعلاقات بينهما وبين المكان.

وأفترض أنك ستسلم لي بأن الأمر لا يتعلق ها هنا بخاصيات هندسية. وأنا على يقين من أنك ستسلم لي على كل حال بأن تلك الخاصيات مستقلة عن كل معرفة بالهندسة القيسية.

أما وقد وُضع ذلك، فإني أتخيل أن لدينا جسماً صلباً يتكون من ثمانية سيقان حديدية دقيقة OA و OB و OC وOD وOE وOF وOG وOH تجتمع عند الطرف O. وأتخيل من ناحية أخرى أن لدينا جسماً صلباً ثانياً، قطعة خشبية مثلاً، عليها ثلاث بقع من الحبر أسميها α وβ وγ، وأفترض بعد ذلك أننا نلمس أنه بإمكاننا جعل$\alpha\beta\gamma$ تماس AGO (وأعني بذلك أن α تماس A في الوقت ذاته الذي يتماسّ فيه β وG وα وO) بحيث يكون لنا أن نجعل $\alpha\beta\gamma$ تماس على التوالي BGO وCGO وDGO وEGO وFGO ثم AHO وBHO وCHO وDHO وEHO وFHO وأن نجعل $\alpha\gamma$ تماس على التوالي AB وBC وCD وDE وEF وFA.

تلك معاينات يمكننا القيام بها من دون أن تكون لنا سلفاً أية فكرة عن الشكل أو عن خاصيات المكان المترية. فهي لا تتعلق البتة «بالخاصيات الهندسية للأجسام». ثم إن تلك المعاينات لن تكون ممكنة، إذا ما تحركت الأجسام التي نجري عليها التجربة

حركة زمرة ذات بنية متماثلة مع زمرة لوباتشيفسكي (وأعني بذلك إذا ما تحركت وفقاً للقوانين ذاتها التي تتحرك بمقتضاها الأجسام الصلبة في هندسة لوباتشفسكي). وبالتالي كانت تلك المعاينات كافية لتقوم الحجة على أن تلك الأجسام تتحرك وفقاً للزمرة الإقليدية، أو على أنها لا تتحرك - على كل حال - وفقاً لما تقتضيه زمرة [١٠٣] لوباتشيفسكية.

أمّا أن تكون تلك الخصائص الهندسية متوافقة مع الزمرة الإقليدية فذلك مما يسهل إدراكه. إذ بإمكاننا أن نجعلها كذلك إذا كان الجسم$\alpha\beta\gamma$ جسماً صلباً ثابت الشكل، من أجسام الهندسة العادية، وكان له شكل مثلث قائم الزاوية، وكانت النقاط ABCDEFGH قمماً لجسم متعدد السطوح متكون من هرمين سداسيين منتظمين من هندستنا العادية لهما قاعدة مشتركة ABCDEF وقمتان هما G لأحدهما وH للآخر.

لنفترض الآن أننا نتفطّن إلى أنه بإمكاننا - بدل المعاينات السابقة - أن نُطبّق مثلما فعلنا ذلك منذ حين $\alpha\beta\gamma$ تباعاً على AGO وBGO وCGO وDGO وEGO وFGO وFHO ثم نطبق $\alpha\beta$ (وليس $\alpha\gamma$) تباعاً على AB وBC وCD وDE وEF وFA.

تلك هي المعاينات التي كان بمستطاعنا القيام بها لو كانت هندسة إقليدس صحيحة وكان الجسمان $\alpha\beta\gamma$ وOABCDEFGH جسمين صلبين ثابتي الشكل، ولو كان أولهما مثلثاً قائم الزاوية، والثاني هرماً سداسياً منتظماً مزدوجاً ذا أبعاد ملائمة.

ولن تكون تلك المعاينات الجديدة ممكنة، لو تحركت الأجسام وفق ما تقتضيه الزمرة الإقليدية، ولكنها تصبح ممكنة إذا ما افترضنا أن الأجسام تتحرك وفق ما تقتضيه الزمرة اللوباتشيفسكية وبالتالي، فإنها تكفي (لو قمنا بها) لتقوم الحجة على أن الأجسام المعنية لا تتحرك وفقاً لما تقتضيه الزمرة الإقليدية.

وهكذا أكون قمت بمعاينات سمحت لي بأن أبيّن مرة أن الأجسام التي أُجريت عليها التجربة تتحرك وفق ما تقتضيه زمرة إقليدية البنية، ومرة أخرى أنها تتحرك وفقاً لما تقتضيه زمرة لوباتشفسكية البنية، من دون أن أضع أية فرضية تتعلق بشكل المكان، أو بطبيعته، ولا بعلاقات الأجسام به، ومن دون أن أضيف إلى الأجسام أدنى خاصية هندسية.

وينبغي أن لا يقال لي إن المجموعة الأولى من المعاينات [١٠٤] تشكل تجربة دالة على أن المكان إقليدي، والثانية تشكل تجربة دالة على أن المكان لاإقليدي.

ولنا بالفعل أن نتخيل (وأقول نتخيل) أجساماً تتحرك حركة تجعل المجموعة الثانية من المعاينات ممكنة. والدليل على ذلك أن أي مختص في الميكانيكا يمكنه أن يبني تلك المجموعة إذا ما كلّف نفسه ذلك وأقدم على ما يوجبه من التضحية. وليس لك مع ذلك، أن تستنتج أن المكان لاإقليدي.

ولما كانت الأجسام الصلبة العادية باقية حتى حين يكون ذلك المختص في الميكانيكا قد صنع الأجسام التي كنت أتحدث عنها، كان الأمر يقضي بأن نذهب حتى إلى استنتاج أن المكان إقليدي ولاإقليدي معاً.

لنفترض مثلاً أنّ لدينا كرة كبيرة شعاعها R وأن درجة الحرارة تنخفض من مركزها إلى سطحها وفقاً للقانون الذي تحدثت عنه عندما وصَفت العالم اللاإقليدي.

عندئذ أمكن أن تكون لدينا ـ من ناحية ـ أجسام ذات تمدد ضئيل جدّاً تسلك مسلك الأجسام الصلبة العادية الثابتة الشكل، ومن ناحية أخرى أجسام شديدة التمدد تسلك مسلك الأجسام الصلبة اللاإقليدية، فيجوز أن يكون لدينا هرمان مزدوجان

OABCDEFGH و O'A'B'C'D'E'F'G'H'، ومثلثان $\alpha\beta\gamma$ و $\alpha'\beta'\gamma'$، الهرم المزدوج الأول مستقيم والهرم المزدوج الثاني منحنٍ. المثلث $\alpha\beta\gamma$ صنع من مادة لامتمددة والآخر $\alpha'\beta'\gamma'$ من مادة غاية في التمدد.

بإمكاننا عندئذ أن نقوم بالمعاينات الأولى على الهرم المزدوج OAH والمثلث $\alpha\beta\gamma$ والمعاينات الثانية على الهرم المزدوج O' A' H' والمثلث $\alpha'\beta'\gamma'$ وعندها ستبدو التجربة وكأنها تشهد لصحة هندسة إقليدس أولاً ثم على خطئها.

فلم تتعلق التجارب إذاً بالمكان بل بالأجسام.

[١٠٥] **ثامناً**: يتطلب استيفاء الموضوع أن أتحدث في مسألة على غاية من الصعوبة، تقتضي تبسطاً مطولاً، ولكن سأكتفي ها هنا بتلخيص ما كنت قدمته في مجلة **الميتافيزيقا والأخلاق**(٢) ومجلة **ذي مونيست**(٣) (أي الموحد). فماذا نعني عندما نقول إن للمكان ثلاثة أبعاد ؟

كنا رأينا أهمية تلك «التغيرات الدّاخلية» التي تكشف لنا عنها إحساساتنا العضلية حيث يمكن استخدامها للتمييز بين مختلف أوضاع أجسادنا. لنأخذ ـ على هوانا ـ واحداً من تلك الأوضاع A منطلقاً. فعندما ننتقل من ذلك الوضع الابتدائي A إلى أي وضع آخر B، فإننا نشعر بسلسلة من الإحساسات العضلية S، وهذه السلسلة S تحدد الوضع B. على أننا نلاحظ مع ذلك أننا كثيراً ما نظر إلى السلسلتين S و S' وكأنهما تحددان وضعاً واحداً B، حيث إنه لما كان الوضعان الابتدائي A والنهائي B باقيين على ما هما، فإن الأوضاع الوسطى والاحساسات المرتبطة بها يمكن أن تتغيّر،

---

(٢) *Revue de métaphysique et de Morale.*

(٣) *The Monist.*

فكيف لنا إذاً أن نتعرّف على تكافؤ هاتين السلسلتين؟ نتعرف على تكافئهما لأنه يمكن استخدامهما لتعويض تغيير مماثل خارجي، أو بصفة أعم لأنه حين يتعلق الأمر بتعويض تغيير خارجي، فإنه يمكن استبدال إحدى السلسلتين بالأخرى.

وكنا ميزنا من بين هذه السلاسل، تلك التي يمكنها لوحدها أن تعوّض تغييراً خارجياً وسميناها «إزاحات». ولما كنا لا نستطيع التمييز بين إزاحتين متقاربتين جداً، كانت مجموعة الإزاحات تلك تنطوي على خاصيات المتّصل الفيزيائي، والتجربة تعلمنا أن تلك الخاصيات هي خاصيات المتّصل الفيزيائي السداسي البعد، غير أننا لم نكن نعلم بعدُ كم للمكان ذاته من بُعد، وتلك مسألة أخرى علينا حلها.

ما هي النقطة المكانية؟ يظن الجميع أنهم يعرفون ذلك ولكنهم واهمون، ذلك أن ما نراه عندما نتكلّف تصور نقطة [١٠٦] مكانية، إنما هو بقعة سوداء على ورق أبيض، أو بقعة بيضاء على سبورة سوداء. فنحن في كلتا الحالتين نبصر شيئاً ما. ولذلك كان علينا أن نفهم السؤال على النحو التالي:

ما الذي أعنيه عندما أقول إن الشيء B يوجد في النقطة ذاتها التي كان يحتلها منذ حين الشيء A؟ أو قل أيّ معيار يسمح لي بالتعرف على ذلك؟

أريد أن أقول إنه على الرغم من أنني لم أتحرك (وهو ما تشعرني به حاستي العضلية) فإن إصبعي الأول الذي كان منذ حين يلمس الشيء A، يلمس الآن الشيء B. وكان بإمكاني أن أستعمل معايير أخرى مثل إصبع آخر أو حاسة البصر غير أن المعيار الأول يكفي، فأنا أعلم أنه إذا ما استجاب للغرض فإن بقية المعايير ستقدم الجواب نفسه. وأنا أعلم ذلك تجريبياً ولا يمكن لي أن أحيط به قبلياً. ولهذا السبب أيضاً أقول إنه لا يمكن

أن يمارس اللمس عن بعد، وهو أسلوب آخر في صياغة الواقعة التجريبية ذاتها. وإن قلت ـ على العكس من ذلك ـ إن البصر يمارس عن بعد، فذلك يعني أن المعيار الذي يوفره يمكن أن يجيب بنعم في حين تجيب بقية المعايير بلا.

وبالفعل فإنه يمكن لشيء ما أن يرسم ـ رغم ابتعاده ـ صورته على نقطة بعينها من الشبكية. فالبصر يجيب بنعم ان الموضوع بقي في النقطة ذاتها في حين يجيب اللمس بلا لأن إصبعي الذي كان منذ حين يلمس الشيء لم يعد الآن يلمسه. ولو بينت لنا التجربة أن إصبعاً يمكن أن يجيب بلا عندما يجيب الآخر بنعم لقلنا أيضاً إن اللمس يُمارس عن بعد. وباختصار فإن إصبعي الأول يحدد نقطة بالنسبة إلى كل وضع من أوضاع جسدي. وتلك النقطة ذاتها هي التي تعرّف وحدها النقطة المكانية.

وعلى هذا النحو كان كل وضع ترتبط به نقطة، إلاّ أنه غالباً ما يتفق أن ترتبط النقطة الواحدة بأوضاع مختلفة عديدة. (وتلك هي الحالة التي نقول فيها إن إصبعنا لم يتحرك أما بقية الجسد فقد تحركت. وبالتالي فإننا نميّز ـ ضمن تحوّلات الوضع ـ تلك التي لا
[١٠٧] يتحرك فيها الإصبع. فكيف توصلنا إلى ذلك؟ لأننا كثيراً ما نلاحظ أن الشيء الذي يلامس الإصبع لا يفارق ـ خلال تلك التغييرات ـ وضع الملامسة.

فلنرتّب إذاً في صنف واحد جميع الأوضاع التي يستنبط بعضها من بعض بتوسط أحد التحوّلات التي نكون قد ميزناها على ذلك النحو. وجميع الوضعيات المرتبة في صنف واحد تقابلها نقطة مكانية واحدة. وبالتالي فكل صنف تقابله نقطة وكل نقطة يقابلها صنف. إلا أنه يمكننا أن نقول إن ما تبلغه التجربة ليس النقطة بل هو هذا الصنف من التحوّلات أو بالأحرى صنف الإحساسات العضلية ذات الصلة.

وبالتالي حين نقول إن للمكان ثلاثة أبعاد فإنما نعني بذلك أن مجموعة تلك الأصناف تبدو لنا بخصائص المتصل الفيزيائي الثلاثي البعد.

وقد نميل إلى استنتاج أن التجربة هي التي علمتنا كم للمكان من بعد، والحقيقة أن تجاربنا ـ هاهنا أيضاً ـ لم تتعلق بالمكان بل تعلقت بجسدنا وبصلاته بالأشياء المحيطة به، فضلاً عن أنها تجارب على غاية من الخشونة.

إننا نحمل سلفاً فكرة عن بعض ضروب الزمر، وهي موجودة في الفكر على جهة الكمون. وتلك الزمر هي التي كان لي (Lie) وضع نظرية فيها.

فأية زمرة سنختار لنتخذها معياراً نقارن به بين الظواهر الطبيعية؟

وأية زمرة جزئية سنأخذ ـ من تلك الزمرة المختارة ـ لتحديد خصائص النقطة المكانية؟ لقد هدتنا التجربة بأن أبانت لنا عن أفضل الاختيارات تلاؤماً مع خصائص جسدنا، ولكن دورها يقف عند ذلك الحد.

تجربة السلف

يقال أحياناً إنه إذا لم تستطع التجربة الفردية إبداع الهندسة، فإن الأمر يجري على غير ذلك بالنسبة إلى تجربة السلف. فما نعني بذلك؟ هل نعني به أننا لا نستطيع أن نبرهن نحن تجريبياً على [١٠٨]
مصادرة إقليدس، أما أجدادنا فقد وفقوا إلى ذلك؟ ليس ذلك ما نعنيه البتة، وإنما نريد أن نقول إن فكرنا **تأقلم** بحكم الانتقاء الطبيعي مع ظروف العالم الخارجي وتبنّي أكثر الهندسات فائدة للنوع، أو قل أكثرها **تلاؤماً** معه. وهو ما يطابق استنتاجاتنا مطابقة تامة. فليست الهندسة صحيحة وإنما هي مفيدة.

القســـم الثالــث

القـــوة

الفصل السادس

الميكانيكا الكلاسيكية

يدرس الانكليز الميكانيكا باعتبارها علماً تجريبياً أما في [١١١]
القارة فتبسط دائماً وكأنما هي أقرب ما تكون إلى العلم الاستنباطي القَبْلي، ولا جدال في أن الانكليز هم المحقون. ولكن كيف استطاع البعض أن يصرّ طويلاً على متاهات مغايرة؟ ولمَ لم يتهيأ ـ في أغلب الأحيان ـ لعلماء القارة الذين اجتهدوا للتخلص من عادات أسلافهم، أن يتحرروا كلياً منها؟

وإذا لم يكن ـ من ناحية أخرى ـ لمبادئ الميكانيكا من مصدر آخر غير التجربة، فهل لها أن تكون إلا مبادئ تقريبية مؤقتة؟ ألا يمكن أن تؤول بنا يوماً ما تجارب جديدة إلى تحويرها أو حتى إلى إهمالها؟

تلك هي الأسئلة التي تطرح نفسها بشكل طبيعي. وتتأتى صعوبة حلها خاصة من أن متون العلم الميكانيكي لا تفرق جيداً بين التجربة والاستدلال الرياضي ولا بين الاصطلاح والفرضية.

وليس ذلك هو كل شيء.

١ ـ فلا وجود للمكان المطلق، ونحن لا نتصوّر إلاّ حركات

نسبية. ومع ذلك، فكثيراً ما نصوغ الوقائع الميكانيكية وكأنما ثمة مكان مطلق نسندها إليه.

٢ ـ لا وجود للزمان المطلق والقول بمدتين متساويتين لا معنى له في ذاته، ولا يمكن أن يكون له من معنى إلا على جهة الاصطلاح.

[١١٢] ٣ ـ لا يمتنع علينا امتلاك حدس تساوي مدتين فحسب بل حتى حدس تزامن حدثين يجريان على مسرحين مختلفين، وهو ما كنت شرحته في مقال بعنوان «قيس الزمن»[١].

٤ ـ وأخيراً، ليست هندستنا الإقليدية ذاتها إلاّ اصطلاحاً لغوياً، إذ بوسعنا أن نصوغ الوقائع الميكانيكية بإسنادها إلى مكان لاإقليدي قد يشكل إحداثية أقل ملاءمة ولكن ليست أقل مشروعية من المكان العادي، وقد تصبح الصياغة أكثر تعقيداً ولكنها تبقى ممكنة.

وبالتالي فإن المكان المطلق والزمن المطلق والهندسة ذاتها ليست إلاّ شروطاً تفرض ذاتها على الميكانيكا. ولا يسبق وجود تلك الأشياء وجود الميكانيكا أكثر مما يسبق وجود اللغة الفرنسية منطقياً، الحقائق التي نعبر عنها بالفرنسية.

وبإمكاننا أن نتكلف صياغة قوانين الميكانيكا الأساسية في لغة مستقلة تماماً عن جميع تلك الاصطلاحات، ما قد يتيح لنا إدراكاً أفضل لتلك القوانين في ذاتها، وهو ما ذهب إليه السيد أندراد (Andrade) جزئياً على الأقل في كتابه المسمّى دروس في الميكانيكا الفيزيائية.

(١) انظر: *Revue de métaphysique et de morale*, vol. 6 (janvier 1898), pp. 1-13, et Henri Poincaré, *La Valeur de la science* (Paris: Flammarion, 1948), chap. 2.

وقد تصبح صياغة تلك القوانين بطبيعة الحال أكثر تعقيداً باعتبار أن جميع تلك الاصطلاحات إنمّا تخيلناها قصد اختزال تلك الصّياغة وتبسيطها.

أما في ما يخصني، فسأترك جانباً تلك المصاعب، باستثناء ما اتصل منها بالمكان المطلق، لا استخفافاً بها، بل لأني كنت نظرت فيها ما فيه الكفاية في الجزأين الأولين من هذا العمل.

سأسلّم إذاً مؤقتاً بالزمن المطلق والهندسة الإقليدية.

مبدأ العطالة ـ لا يمكن للجسم الذي لا يخضع لأية قوة إلّا أن يتحرّك حركة مستقيمة منتظمة.

[١١٣] فهل نحن هنا إزاء حقيقة تفرض نفسها قَبْلياً على الفكر؟ ولو كان الأمر كذلك فكيف تجاهلها الإغريق؟ كيف تأتّى لهم أن يعتقدوا أن الحركة تنتهي بمجرد أن تتعطل عن الفعل العلة التي أوجدتها؟ وكيف كان لهم أيضاً أن يظنوا أن كل جسم يتحرك ـ إذا لم يقسره قاسر ـ حركة دائرية، وهي عندهم أشرف الحركات؟

وإذا قلنا إن سرعة جسم ما لا يمكنها أن تتغير ما لم يكن ثمة من سبب يدعو إلى تغييرها، ألا يكون لنا أيضاً أن نذهب إلى أن موقع ذلك الجسم أو انحناء مساره لا يمكن أن يتغيّرا، ما لم تتدخل علة خارجية لتغييرهما؟

هل يكون إذًا مبدأ العطالة ـ وما هو بالحقيقة القَبْلية ـ، واقعة تجريبية؟ ولكن هل أجريت قط تجربة واحدة على أجسام غير خاضعة لأية قوة كانت؟ وإذا كنا أجرينا تلك التجربة فكيف عرفنا أن تلك الأجسام لم تكن خاضعة لأية قوة؟ يساق عادة مثال الكجة التي تتدحرج مدة طويلة على طاولة من مرمر، فلم نقول إنها لا تخضع لأية قوة؟ هل لأنها بعيدة غاية البعد من جميع بقية الأجسام حتى أنها لا تتأثر بها تأثراً يذكر؟ ولكنها لا تبعد عن الأرض أكثر من ابتعادها عنها لو كنا قذفنا بها في

الهواء قذفاً طليقاً، وكلنا يعلم أنها في تلك الحالة ستنفعل بتأثير الجاذبية المتأتية عن جاذبية الأرض.

وقد تعوّد أساتذة الميكانيكا أن يمروا على مثال الكجة مرّ الكرام، ولكنهم يضيفون أنه يقع التحقق من مبدأ العطالة تحققاً لا مباشراً بتوسط نتائجه. وهم يسيئون التعبير، إذ من الواضح أنهم يقصدون أنه يمكن التحقق من نتائج عديدة لمبدأ أعمّ ليس مبدأ العطالة إلا حالة خاصة منه.

وأقترح أن يصاغ هذا المبدأ العام الصياغة التالية:

إن تسارع جسم ما لا يرتبط إلاّ بموقع ذلك الجسم ومواقع الأجسام الأخرى وسرعاتها.

[١١٤] وللرياضيين أن يقولوا إن حركات جميع جزئيات الكون المادية تخضع لمعادلات تفاضلية من الرتبة الثانية.

ورجائي أن يؤذن لي في ركوب الخيال، حتى أتمكّن من إفهامكم أن تلك الصياغة هي بالفعل التعميم الطبيعي لقانون العطالة. فلقد سبق أن قلت إن ذلك القانون لا يفرض نفسه علينا قبلياً، بل إنه يمكن لقوانين أخرى أن تتلاءم بالدرجة نفسها مع مبدأ العلة الكافية. فإذا لم يخضع جسم ما لأية قوة أمكن أن نفترض ـ بدلاً من عدم تبدل سرعته ـ وجوب عدم تبدل موقعه أو تسارعه.

ولنتخيل بالفعل لحظة أن أحد هذين القانونين الافتراضيين هو قانون الطبيعة، وأنه يعوض قانون العطالة. فما يمكن أن يكون تعميمه الطبيعي؟ دقيقة واحدة من التفكّر تُوقِفنا على ذلك.

في الحالة الأولى علينا أن نفترض أن سرعة جسم ما لا تتبع إلا موقعه وموقع الأجسام المجاورة له. وعلينا في الحالة الثانية أن

نفترض أن تبدل تسارع جسم ما، لا يتبع إلا موقع ذلك الجسم ومواقع الأجسام المجاورة له وسرعاتها وتسارعاتها.

أو قل بلغة الرياضيات إن المعادلات التفاضلية للحركة ستكون في الحالة الأولى من الرتبة الأولى، ومن الرتبة الثانية في الحالة الثانية.

لِنُدخل بعض التحوير على ما كنّا توهمنا. سأفترض عالماً مماثلاً لنظامنا الشمسي. ولكنّ مدارات جميع الكواكب تكون فيه ـ بضرب من الصدف الغريبة ـ بلا اختلاف مركزي، ولا ميل. وسأفترض ـ علاوة على ذلك ـ أن كتل تلك الكواكب على غاية من الضآلة بحيث لا يحُسّ ما يُدخله بعضُها على بعض من الاضطراب. لن يتردد الفلكيون الذين يسكنون أحد تلك الكواكب في أن يستنتجوا أن مدار كوكب ما، لا يكون إلا مستديراً وموازياً لمستوٍ ما. وتكفي عندها معرفة موقع الكوكب في آنٍ ما، لتحديد سرعته وكامل مساره. وسيكون قانون العطالة الذي قد يتبنونه أول [١١٥]
القانونَيْن الافتراضيين اللذين كنت تحدثت عنهما.

لنتخيل الآن أنه صادف أن اخترق يوماً ما، ذلك العالم جسم هائل الكتلة قادم من سماوات نائية بسرعة فائقة. فستختل كل المسارات اختلالاً بعيداً، ولن يندهش أولئك الفلكيون لذلك اندهاشاً عميقاً، إذ سيتفطنون لا محالة، إلى أن هذا الكوكب الجديد هو الآثم الوحيد المتسبب بكل هذا الشر. وسيقولون إنّ النظام سيعود إلى سالف نصابه من تلقاء ذاته، عند ابتعاد الكوكب الذي سبّب الاضطراب.

ولن يتفطن هؤلاء الفلكيون إلى خطئهم وإلى ضرورة إعادة تأسيس علمهم الميكانيكي، إلا عندما يكون الكوكب المزعج قد ابتعد من دون أن تستعيد المسارات ـ مع ذلك ـ استدارتها بل تصبح اهليليجية.

ولئن ألححت بعض الشيء على هاتين الفرضيتين، فلأنه بدا لي أننا لا نستطيع أن نفهم جيداً ما هو قانون العطالة المعمّم إلا إذا قابلنا بينه وبين فرضية مضادة.

والآن هل وقع التحقق تجريبياً من قانون العطالة هذا في شكله العام وهل بمستطاعنا ذلك؟ عندما كتب نيوتن المبادئ نظر فعلاً إلى تلك الحقيقة وكأنما هي مستمدة من التجربة ومبرهَنٌ بها عليها. وقد بدا له أن الأمر كذلك لا بفعل الصنم التشبيهي الذي سأعود للحديث فيه لاحقاً فحسب، وإنما أيضاً بسبب أعمال غاليلي (Galilée) وبحكم قوانين كبلر (Kepler) ذاتها، حيث تقضي تلك القوانين فعلاً بأن مسار كوكب ما، يتحدّد كلّياً بموقعه وسرعته الابتدائية، وهو بالذات ما يقضي به قانون العطالة في شكله العام.

ولكي لا يكون ذلك المبدأ صحيحاً إلاّ في الظاهر، ولكي نكون قد خشينا أن نُكره يوماً على استبداله بأحد القانونين المماثلين له اللذين قابلته بهما منذ حين، وجب أن نكون قد انخدعنا بضرب
[١١٦] من ضروب الصدف المفاجئة، مثل تلك التي خدعت ـ في التوهم الذي سقناه سابقاً ـ الفلكيين الذين تخيلناهم.

إن مثل هذا الافتراض مستبعد جداً ولا حاجة بنا إلى التوقف عنده فما من أحد سيصدق بإمكان حدوث تلك المصادفات، إذ الأرجح أن احتمال أن يكون اختلافان مركزيان مساويين لصفر باعتبار أخطاء الملاحظة، ليس أقل من احتمال أن يكون الاختلاف المركزي الأوّل يساوي مثلاً ٠,١ بالضبط والآخر ٠,٢ باعتبار أخطاء الملاحظة، واحتمال حدث بسيط ليس أضعف من احتمال حدث معقّد. ومع ذلك لو وقع الحدث الأوّل لما ذهب بنا الظن إلى أن الطبيعة أضلتنا عمداً. وإذا ما استبعدنا خطأ من هذا النوع، أمكننا التسليم ـ في مستوى علم الفلك ـ بأن قانوننا صدّقته التجربة.

غير أن علم الفلك ليس الفيزياء كلها.

هل لنا أن نخشى أن تجدّ يوماً ما بعض التجارب المستحدثة فتكذّب هذا القانون في بعض فروع الفيزياء؟ فالقانون التجريبي يخضع دائماً للمراجعة، وعلينا دائماً أن نتوقع استبداله بقانون آخر يكون أدقّ منه.

ومع ذلك فما من أحد يخشى حقّاً أن يقتضي الأمر يوماً ما، التخلي عن القانون الذي نتحدث عنه أو يقضي بتحويره، فلم كان الأمر كذلك؟ لأنه لن يمكننا البتّة إخضاعه لاختبار حاسم.

ذلك أن تمام هذا الاختبار يقتضي أول ما يقتضي أن تكون جميع الأجسام في الكون قد رجعت ـ بعد مضي زمنٍ ما ـ إلى مواقعها الابتدائية بسرعاتها الابتدائية، وعندها سنرى ما إذا كانت ستستعيد، بداية من تلك اللحظة، المسارات التي كانت تتّبعها.

غير أن ذلك الاختيار محال، ولا يمكن القيام به إلا جزئياً، ومهما جوّدناه فستكون ثمة أجسام لا تعود إلى موقعها الأصلي. وهكذا فإن كل إخلال بالقانون سيكون من السهل إيجاد ما يبرره.

وبالإضافة إلى ما سبق، نحن نبصر ـ في علم الفلك ـ [١١٧] الأجسام التي ندرس حركاتها، ونسلم في أغلب الأحيان بأنها لا تتأثر بفعل أجسام أخرى لامرئية. فوجب في ذلك القانون إما أن يتحقق ـ في إطار هذه الشروط ـ وإما ألا يتحقق.

أمّا في الفيزياء فالأمر يجري على غير ذلك. فإذا كانت الظواهر الفيزيائية تعزى إلى حركات فهي حركات لامرئية تقوم بها الجزئيات. وبالتالي فإذا ما ظهر لنا أن تسارع جسم ما من الأجسام التي نبصرها يرتبط بشيء آخر غير مواقع الأجسام الأخرى المرئية أو سرعاتها أو غير مواقع الجزئيات اللامرئية التي نكون قد سلمنا من قبلُ بوجودها أو سرعاتها، فليس ثمة ما يمنعنا من افتراض أن هذا الشيء الآخر هو موقع جزئيات أخرى وسرعاتها، وهي

جزئيات ما خطر ببالنا حتى الساعة وجودها، وعندها يبقى القانون ساري المفعول.

وليؤذن لي في أن أستخدم هنيهة اللغة الرياضية لأعبر عن الفكرة نفسها تعبيراً آخر. أفترض أننا نرصد n جزئيات، وأننا نسجل أن إحداثياتها $3n$ خاضعة لنظام من $3n$ معادلات تفاضلية من الرتبة الرابعة (لا من الرتبة الثانية كما يتطلب ذلك مبدأ العطالة). ونحن نعلم أنه إذا ما أدخلنا $3n$ متغيرات مساعدة، أمكن تحويل نظام من $3n$ معادلات من الرتبة الرابعة إلى نظام من $6n$ معادلات من الرتبة الثانية. فإذا ما افترضنا أن هذه المتغيرات المساعدة $3n$ تمثل إحداثيات n جزئيات لامرئية كانت النتيجة متطابقة من جديد مع مبدأ العطالة.

وباختصار فإن ذلك القانون الذي وقع التحقق منه تجريبياً في بعض الحالات الخاصة، يمكن سحبه من دون خوف على أعمّ الحالات، لأننا نعلم أنه ليس في مستطاع التجربة أن تثبته أو أن تنقضه.

قانون التسارع ـ إن تسارع جسم ما يساوي القوّة التي تفعل فيه مقسومة على كتلته.

[١١٨] هل يمكن التحقق من هذا القانون تجريبياً؟ يجب ـ ليتاح لنا ذلك ـ أن نقيس الأعظام الثلاثة التي تتضمنها الصياغة وهي التسارع والقوّة والكتلة.

وأسلّم جدلاً بأننا نستطيع أن نقيس التسارع لأني لا أطرح الإشكال المترتب عن قيس الزمن. ولكن كيف لنا أن نقيس القوة أو الكتلة، ونحن لا نعرف حتى حقيقتهما.

ما هي الكتلة؟ يجيب نيوتن (Newton) بأنها حاصل ضرب الحجم بالكثافة، فيرد طومسون (Thomson) وتايت (Tait) بأن الأفضل أن نقول إن الكثافة هي خارج قسمة الكتلة على الحجم.

وما هي القوّة؟ يجيب لاغرانج (Lagrange) بأنها العلة التي تُحدث حركة جسم ما أو تنزع إلى إحداثها، في حين يذهب كيرشوف (Kirchhoff) إلى أنها حاصل ضرب الكتلة بالتسارع. ولكن لم لا نقول عندئذ إن الكتلة هي خارج قسمة القوّة على التسارع؟

تلك مصاعب لا فكاك لها.

فعندما نقول إن القوة علة الحركة، فإنما نقول قولاً ميتافيزيقياً. وإذا ما كان علينا الاكتفاء بهذا التعريف ألفيناه عقيماً، إذ إن جدوى تعريف ما تقتضي أن يعلّمنا قيس القوة وهذا كاف، إذ ليس من الضروري البتة أن يعلمنا ما هي القوة في ذاتها، أو هل هي علة الحركة أو نتيجة لها.

وجب إذاً ـ قبل كل شيء ـ أن نعرّف تساوي قوتين. فمتى نقول عن قوتين إنهما متساويتان؟ نجيب عن ذلك بأنهما تتساويان إذا ما سُلّطتا على كتلة واحدة فأعطتاها تسارعاً واحداً، أو بأنهما تتوازنان إذا ما ضادّت إحداهما الأخرى مباشرة. وما هذا التعريف إلا سراب، حيث إنه لا يتأتّى لنا أن نفصل قوة مسلطة على جسم ما، لنربطها بجسم آخر، كما نفصل قاطرة لنربطها بقطار آخر، وبالتالي تستحيل معرفة أي تسارع يمكن لقوة ما مسلطة على جسم ما، أن تعطيه لجسم آخر إذا ما سلّطت عليه، وتستحيل معرفة كيف سيكون مسلك قوتين غير متضادتين مباشرة إذا ما تضادتا [١١٩]
مباشرة.

ذلك هو التعريف الذي نسعى إلى تجسيمه إن صح التعبير، عندما نقيس القوة باستخدام مقياس القوة أو عندما نوازنها بواسطة ثقل ما. وأفترض ـ طلباً للتيسير ـ أن قوتين F و′F عموديتين متجهتين من تحت إلى فوق سُلّطتا على الجسمين C و′C.

ثمّ أعلّق وزناً واحداً P على الجسم C أولاً فالجسم ′C بعد

ذلك. فإذا وقع التوازن في الحالتين استنتجت أن القوتين F وF′ متساويتان بحكم تساوي كل واحدة منهما مع وزن الجسمP.

ولكن هل أنا على يقين من أن الجسم احتفظ بالوزن ذاته عندما نقلته من الجسم الأول إلى الثاني؟ ذلك أمر مستبعد جداً بل إني على يقين من العكس لأني أعلم أن اشتداد الجاذبية يتبدل من نقطة إلى أخرى، وأنها في القطب أشد مما هي في خط الاستواء. ولا شك في أن الفرق ضئيل جداً، ويمكنني أن لا أعتد به عند التطبيق. غير أن الواجب في التعريف الجيد أن تكون صرامته من صرامة الرياضيات وهو ما لا يتوفر ها هنا. وما أقوله في الوزن ينسحب بداهة على قوة نابض مقياس القوة التي قد تتغير بفعل الحرارة وظروف أخرى كثيرة.

ونضيف إلى ما أسلفنا أنه لا يمكننا أن نقول إن وزن الجسم P قد تسلّط على الجسم C، وأنه وازن مباشرة القوة F، إذ إن ما يطبق على الجسم C إنما هو الفعل A الذي يمارسه الجسم P على الجسم C. والجسم P يخضع بدوره لثقله من ناحية، ولرّد الفعل R الذي يمارسه الجسم C على الجسم P من ناحية أخرى، فتكون القوة F ـ في آخر الأمر ـ مساوية للقوة A لأنها توازنها، وتكون القوة A مساوية للقوة R طبقاً لمبدأ تساوي الفعل ورد الفعل، وأخيراً تكون القوة R مساوية للقوة P لأنها توازنها.

ومن هذه المعادلات الثلاث نستنبط ـ نتيجة لذلك ـ تساوي القوة F والوزن P.

وهكذا نكون ملزمين بأن نُدخِل في تعريف تساوي قوتين مبدأ
تساوي الفعل ورد الفعل ذاته. فوجب بهذا التقدير أن لا يُنظر إلى [١٢٠]
ذلك المبدأ على أنه قانون تجريبيّ بل على أنه تعريف.

وبذلك تكون في حوزتنا قاعدتان للتعرّف على تساوي قوتين، وهما قاعدة تساوي قوتين متوازنتين، وقاعدة تساوي الفعل ورد

الفعل. ولكنهما لا تكفيان كما سبق أن رأينا، لأننا ملزمون بالالتجاء إلى قاعدة ثالثة نسلم بمقتضاها بوجود بعض القوى الثابتة من جهتي العظم والاتجاه، كما نفعل ذلك مثلاً بالنسبة إلى وزن جسم ما. ولكنّ هذه القاعدة الثالثة ـ وقد نبهتُ إلى ذلك ـ إنما هي قانون تجريبي وهي ليست صحيحة إلاّ بصورة تقريبية؛ **فهي تعريف سيئ.**

وعلى هذا النحو يؤول بنا الأمر إلى تعريف كيرشوف (Kirchhoff) القاضي بأن القوة تساوي الكتلة مضروبة بالتسارع. ولا يصح مواصلة اعتبار "قانون نيوتن"هذا قانوناً تجريبياً إذ إنه أصبح مجرّد تعريف، بل إنه تعريف ناقص، لأننا لا نعرف ما هي الكتلة. ولئن هو مكّن لنا من دون شك من حساب النسبة بين قوتين تسلّطان على جسم واحد في أوقات مختلفة، فإنه لا يعلمنا شيئا عن العلاقة بين قوتين تسلّطان على جسمين مختلفين.

ويقتضي إتمام هذا التعريف اللجوء مرة أخرى إلى ثالث قوانين نيوتن (Newton) (وهو قانون تساوي الفعل وردّ الفعل) شريطة أن لا يؤخذ أيضاً مأخذ القانون التجريبي بل مأخذ التعريف. لنعتبر جسمين A و B يفعل أحدهما في الآخر.فإذا ضرب تسارع A بكتلته، كان حاصل الضرب مساوياً لفعل B في A. وإذا ضرب كذلك تسارع B بكتلته، كان حاصل الضرب مساوياً لرد فعل A على B. ولما كان الفعل مساوياً ـ بحكم التعريف ـ لرد الفعل، كانت كتلتا A و B متناسبتين عكساً مع تسارعي هذين الجسمين. وهكذا تتحدد النسبة بين هاتين الكتلتين. وعلى التجربة مهمة التحقق من أن تلك النسبة ثابتة.

وسيكون ذلك من المؤاتي جداً، لو كان الجسمان A و B
وحيدين ومعزولين عن تأثير بقية ما في العالم. ولكن الأمر ليس [١٢١]
على ذلك النحو أصلاً. فتسارع A لا يعزى سببه إلى فعل B وحده

بل أيضاً إلى فعل أجسام عديدة أخرى هي C وD إلخ... لذلك يقتضي تطبيق القاعدة السابقة أن يُحلّل تسارع A إلى مركّبات متعدّدة، وأن تُحدّد المركبة العائدة إلى فعل B.

وسيبقى هذا التحليل ممكناً إذا ما سلّمنا بأن فعل C في A ينضاف ببساطة إلى فعل B في A ، من دون أن يغير وجود الجسم C فعل B في A أو من دون أن يغير وجود B فعل C في A، أي إذا ما سلمنا نتيجة لذلك بأن جسمين ما يتجاذبان وأن فعلهما المتبادل موجه بحسب المستقيم الواصل بينهما ولا يرتبط إلاّ بالمسافة التي تفصل أحدهما عن الآخر، وباختصار إذا ما سلمنا **بفرضية القوى المركزية.**

ونحن نعلم أننا نستعمل في تحديد كتل الأجرام السماوية مبدأً مغايراً تماماً لأن قانون الجاذبية يعلّمنا أن تجاذب جسمين يتناسب مع كتلتيهما. فإذا رمزنا بالحرف r للمسافة الفاصلة بينهما وبالحرفيْ m و m' لكتلتيهما واخذنا ثابتاً كان تجاذبهما على النحو التالي:

$$\frac{Kmm'}{r^2}.$$

وعندها لا يكون ما نقيسه هو الكتلة بما هي نسبة القوة إلى التسارع، بل هو الكتلة الجاذبة، وليس هو عطالة الجسم، بل قدرته على الجذب.

وليس ثمة نظرياً ما يدعو إلى استخدام هذا الأسلوب غير المباشر في العمل، إذ كان يمكن أن تتناسب الجاذبية طرداً مع مربع المسافة من دون أن تتناسب عكساً مع حاصل ضرب الكتلتين وأن تكون مساوية لـ : $f/r^{2\prime}$.

من غير أن يكون لنا

$$f = kmm'.$$

ولو جرى الأمر على هذا النحو لاستطعنا رغم ذلك أن نقيس كتل الاجرام السماوية، بواسطة رصد حركاتها النسبية. [١٢٢]

ولكن هل من حقنا التسليم بفرضية القوى المركزية؟ وهل هذه الفرضية صارمة الدقة؟ وهل نحن على يقين من أن التجربة لن تناقضها؟ ومن يستطيع تأكيد ذلك؟ لو كان علينا أن نتخلى عن تلك الفرضية لانهار كل الصرح الذي لطالما شقينا من أجل تشييده.

لا حقّ لنا منذ الآن في الحديث عن مركَّبة تسارع A العائدة إلى فعل B، إذ ليس لنا من وسيلة نميزها بها عن المركَّبة العائدة إلى فعل C أو فعل أي جسم آخر، وبذلك تصبح قاعدة قيس الكتل غير قابلة للتطبيق.

فماذا بقي إذًا من مبدأ تساوي الفعل وردّ الفعل؟ إذا ما تمّ التخلي عن فرضية القوى المركزية، وجب أن تكون صياغة ذلك المبدأ على النحو التالي: المحصلة الهندسية لجميع القوى المسلطة على مختلف الأجسام التي يتكون منها نظام ما يكون بمنأى عن تأثير أي فعل خارجي، تساوي صفراً. أو لنقل **إن حركة مركز ثقل ذلك النظام تكون مستقيمة ومتشاكلة**.

تلك ـ على ما يبدو ـ وسيلة لتعريف الكتلة ومن البديهي أن يرتبط موقع مركز الثقل، بالقيَم المسندة للكتل. وينبغي التصرف بتلك القيم بحيث تكون حركة مركز الثقل ذاك حركة مستقيمة ومتشاكلة. وهو أمر ممكن على الدوام إذا ما كان ثالث قوانين نيوتن صحيحاً، وهو ما لا يتأتى ـ عموماً ـ إلا بطريقة واحدة.

غير أنه لا وجود لنظام لا يخضع لأي فعل خارجي إذ إن كل جزء من الكون ينفعل بدرجات متفاوتة الأهمية بفعل بقية أجزاء الكون فيه. وبالتالي فإن **قانون حركة مركز الثقل لا يكون صحيحاً تماماً إلا إذا ما طبقناه على الكون برمته**.

وجب حينئذ رصد حركة مركز ثقل الكون لنستخرج من ذلك

قيم الكتل. وتلك، نتيجة خُلفها أظهرُ من أن تخفى، فنحن لا نعرف إلا الحركات النسبية. أما حركة مركز ثقل الكون فستظل [١٢٣]
بالنسبة إلينا المجهول الأبدي.

ضاع إذاً كل شيء وذهبت جهودنا سدى، فإذا نحن مكرهون على الاقتصار على التعريف التالي الذي لا يعدو أن يكون اعترافاً بالعجز: **الكتل هي معامِلات من الملائم إدخالها في الحسابات.**

ومن الممكن أن نعيد كتابة الميكانيكا برمتها، وأن نضفي على جميع الكتل قيماً مختلفة، فلن تكون تلك الميكانيكا الجديدة متناقضة لا مع التجربة، ولا مع المبادئ العامة للديناميكا (مبدأ العطالة، وتناسب القوى مع الكتل والتسارعات، وتساوي الفعل ورد الفعل، وحركة مركز الثقل المستقيمة والمتشاكلة، ومبدأ المساحات).

إلا أن معادلات تلك الميكانيكا الجديدة ستكون **أقلّ بساطة.** ولنتفق جيداً. فأنا أقول إن الحدود الاولى وحدها هي التي ستكون أقلّ بساطة، وأعني بذلك الحدود التي سبق أن كشفت لنا عنها التجربة. فلربّما استطعنا تحوير كتل الكموم الصغيرة من دون أن تمُسّ بساطة المعادلات **التّامة** زيادة أو نقصاناً.

لقد تساءل هيرتز (Hertz) عما إذا كانت مبادئ الميكانيكا صحيحة صحّة صارمة وقال: "سيذهب الظن بالكثير من الفيزيائيين إلى أنه من المحال أن تستطيع أدق التجارب تغيير أي شيء في مبادئ العلم الميكانيكي الراسخة. والحق أن ما خرج من التجربة يمكن دائماً أن تصوّبه التجربة".

تلك مخاوف لا داعي لها بعد ما قلناه. فقد بدت لنا مبادئ الميكانيكا أول الأمر وكأنما هي حقائق تجريبية، ولكننا أكرهنا على استعمالها باعتبارها تعريفات. فالقوة تساوي حاصل ضرب الكتلة بالتسارع **بحكم التعريف**، وذلك مبدأ لن تنال منه من الآن فصاعداً

أية تجربة لاحقة .وبحكم التعريف أيضاً يكون الفعل مساوياً لرد الفعل.

ولقائل أن يقول ما دام الأمر كذلك، فإن تلك المبادئ التي
لا يمكن التحقق منها، خالية من كل معنى ولئن لم يكن بمستطاع [١٢٤]
التجربة أن تناقضها، فهي مبادئ لا تقدر على أن تعلمنا شيئاً نافعاً.
وما يمكن عندئذ أن تكون الجدوى من دراسة الديناميكا؟

قد تكون تلك الإدانة العجلى ظالمة إذ لا وجود في الطبيعة لنظام معزول تماماً، غير واقع البتة تحت أي تأثير خارجي وإنما الموجود هو أنظمة شبه معزولة.

فإذا ما نظرنا في هذا الضرب من الأنظمة، أمكننا لا دراسة الحركات النسبية لمختلف أجزائه فحسب بل كذلك حركة مركز ثقله بالنسبة إلى أجزاء الكون الأخرى. وعندها نلمس أن حركة مركز الثقل ذاك هي تقريباً حركة مستقيمة ومتشاكلة وفق ما يقتضيه ثالث قوانين نيوتن.

تلك حقيقة تجريبية وان لم يكن للتجربة أن تفندها. فما الذي يمكن أن تعلمنا إياه تجربة أدق؟ ستعلمنا أن القانون لم يكن صحيحاً إلا تقريبياً، وهو أمر نعرفه سلفاً.

نتبين الآن كيف أمكن أن تستخدم التجربة قاعدةً لمبادئ الميكانيكا ولكنها لا تستطيع البتة مع ذلك نقضها.

الميكانيكا الأنتروبومورفية ـ لقائل أن يقول إن كيرشوف (Kirchhoff) لم يذهب إلى أبعد من الانقياد لمنزع عام يخضع له الرياضيون والاسمانيون، لم يعصمه منه ما عرف به من براعة عالم الفيزياء. فلمّا صمم على أن يكون له تعريف للقوة، أخذ أول خاطر عرض، فسوّل له أن تعريف القوة مما لا يحتاج إليه، إذ إن مفهومها دال على فكرة أولية لا تقبل الاختزال ولا التعريف، فضلاً عن أننا نعرف جميعاً ما هي، ونحدسها حدساً

مباشراً مترتباً عن فكرة الجهد التي ألفناها منذ طفولتنا.

غير أن هذا الحدس المباشر لن يكفي لتأسيس الميكانيكا، حتى لو عرّفنا به حقيقة القوّة، فضلاً عن أنه لا جدوى منه البتّة إذ ليس المهم أن نعرف ماهيتها، بل أن نستطيع قيسها.

[١٢٥] وكل ما لا يعلمنا كيف نقيس القوّة لا جدوى منه، إذ إن جدواه ليست أقل انعداماً عند الميكانيكي من انعدام جدوى فكرتي الساخن والبارد الذاتيتين عند الفيزيائي الذي يدرس ظاهرة الحرارة، إذ لا خير فيهما ما لم تترجما إلى أعداد. فلرب عالم يكون جلده موصلاً حرارياً من أسوأ الموصلات، فلا يشعر لا ببرودة ولا بسخونة، ولكنه يستطيع أن ينظر كغيره إلى المحرار جيّداً، وفي ذلك ما يكفيه ليبني نظرية الحرارة برمتها.

بيد أن فكرة الجهد المباشر هذه، لا يمكن أن تُعتمد لقيس القوة، إذ من الواضح مثلاً أني سأشعر ـ عند رفع ثقل ذي خمسين كيلوغرام ـ بارهاق أشد مما يشعر به إنسان تعوّد رفع الأثقال.

ثم إن فكرة الجهد لا تمكّننا ـ زيادة على ذلك ـ من معرفة طبيعة القوة الحقيقية، فما الجهد في نهاية الأمر إلا ذكرى إحساسات عضلية وليس لنا أن نزعم أن الشمس تشعر بإحساس عضلي عندما تجذب الأرض.

وأقصى ما نبلغه من فكرة الجهد، إنمّا هو رمز أقل دقة وأقل ملاءمة من السّهام التي يستخدمها المهندسون، ولكنه لا يقل عنها بعداً من الواقع.

ولقد لعبت الأنتروبومورفية دوراً تاريخياً مهماً في نشأة الميكانيكا، وليس من المستبعد أن تقدم أحياناً رمزاً قد يراه البعض ملائماً ولكنها لن تستطيع أن تؤسس شيئاً يكون له طابع علمي فعلي أو طابع فلسفي حقيقي.

«**مدرسة الخيط**». ـ رد السيد أندراد (Andrade) للميكانيكا الأنتروبومورفية شبابها في كتابه المسمى **محاضرات في الميكانيكا الأنتروبومورفية**، إذ يعارض مدرسة الميكانيكيين الذين ينتسب إليهم كيرشوف (Kirchhoff) بما أسماه بغرابةٍ مدرسة الخيط.

وتسعى هذه المدرسة لردّ كل شيء إلى "اعتبار بعض الأنظمة المادية ضئيلة الكتلة، المنظور إليها وهي في حالة توتر، وقادرة على إيصال مجهودات مهمة إلى أجسام بعيدة. ويمثل الخيط [١٢٦]
الأنموذجَ المثالي لهذا الضرب من الأنظمة».

إنه خيط ينقل قوة ما ويتمدد بفعل تلك القوة تمدداً طفيفاً، ويكشف لنا اتجاهُه اتجاهَ القوّة التي يقاس عِظَمها بتمدّده.

بمستطاعنا إذًا أن نتصور تجربة كهذه: جسم ما A يُشدّ بخيط. نجعل في الطرف المقابل من الخيط قوّة تعمل عملها، ثم نبدّلها حتى تكون للخيط الاستطالة a ونسجل تسارع الجسم A. نفك بعد ذلك رباط الجسم A ونشد جسماً آخر B إلى الخيط ذاته، ونجعل تلك القوة أو قوة أخرى مماثلة تعمل عملها من جديد، ثم نبدّلها حتى تكون للخيط الاستطالة a ونسجل تسارع الجسم B. ونعيد التجربة على الجسم A والجسم B على السواء ولكن بشكل يجعل الخيط يبلغ الاستطالة β. والواجب في التسارعات الأربعة التي سجلناها ان تكون متناسبة فيما بينها.

ونحصل بهذه الطريقة على تحقق تجريبي من قانون التسارع الذي صيغ سابقاً.

ونستطيع كذلك أن نخضع جسماً ما، لأفعال متزامنة صادرة عن خيوط متماثلة ومتساوية التوتر، ثم نبحث تجريبياً عمّا يجب أن تكون اتجاهات تلك الخيوط، ليبقى الجسم في حالة توازن وعندها نكون قمنا بتحقق تجريبي من قاعدة تركيب القوى.

ولكن ما الذي فعلناه إجمالاً؟ لقد عرّفنا القوة التي إليها شُدّ

الخيط بالتشويه الحاصل في ذلك الخيط وهو أمر مقبول. ثم سلّمنا بعد ذلك بأنه إذا ما شدّ إلى هذا الخيط جسم ما، كان الجهد الذي ينقله إليه يساوي الفعل الذي يمارسه ذلك الجسم على ذلك الخيط، بحيث نكون استخدمنا في نهاية الأمر مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل، لا باعتباره حقيقة تجريبية بل باعتباره تعريف القوة ذاته.

وهذا التعريف اصطلاحي مثلما هو الشأن في تعريف كيرشوف (Kirchhoff) إلا أنه دونه تعميماً.

[١٢٧] ثم إن القوى لا تنتقل كلها بواسطة خيوط (فضلاً عن أن المقارنة بينها تقتضي أن تنقل جميعها بواسطة خيوط متماثلة). وحتّى لو سلّمنا بأن الأرض مشدودة إلى الشمس بضرب من الخيط اللاّمرئي، فإنه علينا الاعتراف بأن لا وسيلة لنا لقيس استطالته.

وتبعاً لذلك تسقط من تعريفنا تسعة أعشار، ولن نستطيع أن نضفي عليه أي ضرب من المعنى، وعندها سيكون العود إلى تعريف كيرشوف أصلح.

فلم إذاً هذا اللف والدوران؟ فأنت تسلّم بضرب من تعريف القوة لا معنى له إلا في حالات جزئية، ثم انك تتحقق تجريبياً من أنه يقود في تلك الحالات إلى قانون التسارع، وتأخذ ـ استناداً إلى تلك التجربة ـ قانون التسارع على أنه تعريف للقوة في الحالات الأخرى.

أفلا يكون من الأقوم اعتبار قانون التسارع تعريفاً صالحاً في جميع الحالات، فتؤخذ التجارب المشار إليها لا على أنها تحقُّقٌ من ذلك القانون، بل على أنها تحقيق لمبدأ رد الفعل أو على أنها تجارب تبيّن أن التشويهات الطارئة على جسم مَرِن لا ترتبط إلا بالقوى التي يخضع لها ذلك الجسم؟

ثمّ إننا لم نأخذ في الاعتبار أن الشروط التي يمكن ـ في

إطارها ـ أن يقبل تعريفك لا تستوفى إلا استيفاءً ناقصاً، وأن الخيط لا يكون أبداً من دون كتلة، وأنه لا يمكنه أن لا يخضع البتة لتأثير أية قوّة أخرى غير رد فعل الجسمين المشدودين إلى طرفيه.

وعلى الرغم من ذلك تبقى أفكار السيد أندراد (Andrade) على غاية من الأهمية. فلئن لم تلبّ حاجتنا إلى المنطق فقد جعلتنا نفهم فهماً أفضل التكوّن التاريخي لمفاهيم الميكانيكا الأساسية، لأن ما توحي به إلينا تأملاته يبيّن لنا كيف ارتقى الفكر الإنساني من أنتروبومورفية ساذجة إلى مفاهيم العلم الراهنة.

فنحن نشهد في البداية تجربة مغرقة في الجزئية وإجمالاً غاية في الخشونة، وفي النهاية قانوناً غاية في التعميم وغاية في الدقة، [١٢٨] نعتبر ما فيه من يقين مطلقاً. وهذا اليقين إنما نحن الذين أضفيناه عليه، إضفاء شبه حر، بأن اعتبرناه بمثابة الاصطلاح.

فهل لا يعدو إذاً قانون التسارع، وقاعدة تركيب القوى أن يكونا إلا اصطلاحين تحكميين؟ أما أنهما اصطلاحان فنعم، وأما أنهما تحكميان فلا. وقد يكونان كذلك لو أهملنا التجارب التي قادت مؤسسي العلم إلى الأخذ بهما، وهي تجارب كافية ـ على ما فيها من نقص ـ لتبريرهما. لذلك كان يحسن بنا أن نركز انتباهنا من حين إلى حين على المغرس التجريبي الذي عنه صدرت تلك الاصطلاحات.

الفصل السابع

الحركة النسبية والحركة المطلقة

مبدأ الحركة النسبية ـ وقع في بعض الأحيان تكلف ربط [١٢٩] قانون التسارع بمبدأ أعم. فالواجب في حركة كيان ما، أن تخضع لقوانين واحدة سواء أضفناها إلى محاور ثابتة، أو إلى محاور متحركة حركة مستقيمة ومتشاكلة. ذلك هو مبدأ الحركة النسبية الذي يفرض نفسه علينا لسببين، أولهما أن أكثر التجارب رعونة تؤكده، وثانيهما أن الفرضية المناقضة له لا يستسيغها الفكر أصلاً.

فلنسلّم به إذاً. ولنعتبر جسماً ما، خاضعاً لقوة ما. فالواجب في حركة ذلك الجسم بالنسبة إلى ملاحظٍ سرعتُه متشاكلة ومساوية لسرعة الجسم الابتدائية، أن تكون حركة مماثلة لما كان يمكن أن تكون حركته المطلقة، لو أنه كان انطلق من السّكون. واستنتج البعض من ذلك أنه يجب على تسارعه ألا يرتبط بسرعته المطلقة، بل إنهم ذهبوا إلى حد استخراج برهان على قانون التسارع استناداً إلى ذلك.

وقد بقيت آثار ذلك البرهان زمناً طويلاً في برامج الباكالوريا العلمية وبديهي أنه لا جدوى من تلك المحاولة. فالعائق الذي كان يمنعنا من البرهنة على قانون التسارع يتمثل في أنه لم يكن لدينا

تعريف للقوة وهو عائق قائم برمته، لأن المبدأ الذي استندنا إليه لم يسعفنا بالتعريف الذي أعوزنا.

غير أن مبدأ الحركة النسبية لا يفقد بسبب ذلك شيئاً من
[١٣٠] أهميته، ويظل جديراً بأن ينظر فيه لذاته. فلنسع ـ بادئ ذي بدء ـ إلى صياغته صياغة دقيقة.

قلنا في ما سبق إن تسارعات مختلف الأجسام المنتمية إلى نظام معزول، لا ترتبط إلا بسرعاتها ومواقعها النسبية دون سرعاتها ومواقعها المطلقة، شريطة أن تكون المحاور التي تضاف إليها الحركة النسبية، تندفع في حركة مستقيمة ومتشاكلة. وإذا ما طلبنا صياغة أفضل قلنا إن تسارعاتها لا ترتبط إلا بفروق سرعاتها وفروق إحداثياتها، دون القيم المطلقة لسرعاتها وإحداثياتها.

وإذا كان هذا المبدأ صحيحاً بالنسبة إلى التسارعات النسبية، أو قل بالنسبة إلى فروق التسارعات استنتجنا منه ـ عند دمجه مع قانون رد الفعل ـ أنه صحيح أيضاً بالنسبة إلى التسارعات المطلقة.

بقي علينا أن ننظر في الطريقة التي نستطيع بها البرهنة على أن فروق التسارعات لا ترتبط إلا بفروق السرعات وفروق الإحداثيات، أو قل ـ إذا استعملنا لغة رياضية ـ إن فروق الإحداثيات تخضع لمعادلات تفاضلية من الرتبة الثانية.

فهل يمكن أن يستنبط هذا البرهان من التجارب أو من اعتبارات قَبْلية؟

للقارئ أن يجيب بنفسه، باستحضار ما سبق أن قلنا.

وبالفعل فإن مبدأ الحركة النسبية يصبح ـ عندما يصاغ على هذا النحو ـ أشبه ما يكون بما كنت سميتّه سابقاً مبدأ العطالة المعمّم، إلاّ أنهما لا يتماهيان، إذ يتعلق الأمر هنا بفروق الإحداثيات لا بالإحداثيات ذاتها. لذلك فإن المبدأ الجديد يكشف

لنا عن شيء إضافي، لا يكشف لنا عنه المبدأ القديم. ولما كان هذا النقاش يصحّ فيه كان العود إليه زائداً عن الحاجة.

حجة نيوتن ـ هاهنا يواجهنا سؤال على غاية من الأهمية، ولربما كان محيراً بعض الشيء. لقد سبق أن قلت إن مبدأ الحركة النسبية ليس عندي مجرد نتيجة تجريبية، وإن كلّ فرضية مضادة له، يجفوها الفكر قَبْلياً. [١٣١]

ولكن لم لا يكون هذا المبدأ عندئذ صحيحاً إلاّ إذا كانت حركة المحاور المتنقلة حركة مستقيمة متشاكلة؟ ويبدو لي أن الواجب في هذا المبدأ أن يفرض نفسه علينا بالقوة نفسها، حتى إذا كانت تلك الحركة متبدلة، أو اقتصرت على الأقل على الدوران المتشاكل، إلا أنّ المبدأ في كلتا الحالتين غير صحيح.

ولن أطنب في الحالة التي تكون فيها حركة المحاور مستقيمة من دون أن تكون متشاكلة، لأن التحليل سرعان ما يظهر هنا المفارقة. فإذا ما كنت في عربة وتوقف القطار فجأة لاصطدامه بحاجز ما، فسيقذف بي على المقعد المقابل، رغم أني لم أكن خاضعاً مباشرة لأية قوة، وما من سرّ في ذلك. فإذا لم أكن أنا خاضعاً لفعل أية قوة خارجية، فإن القطار قد تعرض هو لصدمة خارجية. وليس ثمة من مفارقة في أن تضطرب الحركة النسبية لجسمين بمجرد أن تتغير حركة أحدهما بسبب خارجي.

سأتوقف وقتاً أطول عند الحالة المتصلة بحركات نسبية تضاف إلى محاور تدور دوراناً متشاكلاً. فلو كانت السماء على الدوام مغشاة بالسحب، ولم تكن لنا أية وسيلة لرصد الكواكب لكان بإمكاننا أن نستنتج على أية حال أن الأرض تدور، فإما أن ينكشف لنا ذلك بتسطيحها أو بواسطة رقاص ساعة فوكو (Foucault).

فهل من معنى ـ مع ذلك ـ للقول في هذه الحالة إن الأرض تدور؟ وإذا لم يوجد المكان المطلق، هل يمكن أن تدور من دون

أن يكون دورانها بالنسبة إلى شيء ما؟ وكيف لنا من ناحية أخرى أن نسلّم باستنتاج نيوتن، فنقول بوجود المكان المطلق؟

غير أنه لا يكفي أن نلمس أن كل الحلول الممكنة تصدمنا على حد سواء، بل يجب في كل واحد منها، أن نحلّل الأسباب [١٣٢] التي تجعلنا نعزف عنه حتى نختار عن دراية. ولذا فإني أعتذر عن الإسهاب في ما سيأتي من النقاش.

لنعد إلى ما تخيلنا من سحب كثيفة تحجب الكواكب عن الناس فهم لا يستطيعون ملاحظتها بل هم يجهلون حتى وجودها. فكيف لهم أن يعلموا أن الأرض تدور؟ الأرجح أن الظن سيذهب بهم ـ أكثر مما ذهب بأجدادنا ـ إلى أن الأرض التي تقلّهم ساكنة لا تتزعزع، وسينتظرون ـ أكثر مما انتظر أجدادنا ـ ظهور كوبرنيك (Copernic). ولكن كوبرنيك هذا سيحزم أمره ويأتي بعد طول انتظار. فكيف سيأتي؟

قد لا يصطدم علماء الميكانيكا في ذلك العالم ـ أول الأمر ـ بتناقض مطلق. فنظرية الحركة النسبية تأخذ في الاعتبار ـ إلى جانب القوى الحقيقية ـ قوتين توهميتين، تسمى الأولى القوة النابذة العادية والثانية القوة النابذة المركّبة. وبإمكان هؤلاء العلماء الخياليين أن يفسروا كل شيء بأخذ تينك القوتين على أنهما حقيقيتان. ولن يجدوا في ذلك تناقضاً مع مبدأ العطالة المعمّم، إذ إن إحداهما سترتبط بالمواقع النسبية لمختلف أجزاء الكيان على غرار الانجذابات الحقيقية، والأخرى سترتبط بسرعاتها النسبية على غرار الاحتكاكات الحقيقية.

ومع ذلك فكثيرة هي المصاعب التي ستسترعي انتباههم. فلو توصلوا إلى تحقيق نظام معزول، فلن يكون لمركز ثقله مسار هو أقرب ما يكون إلى الاستقامة، وسيحتجون ـ لتفسير تلك الواقعة ـ بالقوى النابذة التي أخذوها مأخذ القوى الحقيقية، ونسبوها على

الأرجح إلى الأفعال المتبادلة بين الأجسام. غير أنهم لن يروا تلك القوى تنعدم عند المسافات البعيدة، أي على قدر ما يتحقق انعزال النظام تحققاً أفضل، بل ستتزايد ـ على العكس من ذلك ـ القوة النابذة بتزايد المسافة إلى ما لا نهاية له.

تلك صعوبة ستبدو لهم غاية في الخطورة، ولكنها ـ مع ذلك ـ لن توقفهم طويلاً، إذ سيتخيّلون وسطاً ما، غاية في اللطف، شبيهاً بالأثير، تسبح فيه جميع الأجسام، فيمارس عليها فعلاً نابذاً.

مازلنا لم نقل كل شيء. فالمكان متناظر، ومع ذلك فإن قوانين الحركة ليست متناظرة، إذ لا بد من التمييز بين اليمين واليسار. وسنشاهد، على سبيل المثال، أن الأعاصير تدور دائماً في اتجاه واحد، أما الشهب فهي تتحرّك في هذا الاتجاه أو ذاك، لأسباب تتصل بالتناظر. ولو وُفّق أصحابنا العلماء ـ بفضل عمل جاد ـ إلى أن يجعلوا عالمهم متناظراً تمام التناظر، لما ثبت ذلك التناظر على الرغم من انعدام أيّ سبب ظاهر، يجعله يضطرب في هذا الاتجاه بدل ذاك. [١٣٣]

والأرجح أنهم سيجدون حلاً لهذا الإشكال وسيتصنّعون شيئاً ما، لن يكون أكثر غرابة من كرات بطليموس البلورية. وهكذا تتراكم التعقيدات حتى يبددها كوبرنيك المنتظَر دفعة واحدة، قائلاً إنه من الأيسر جداً أن نسلم بأن الأرض تدور.

وكما كان كوبرنيك الحقيقي قال لنا إنه من الملائم أكثر افتراض أن الأرض تدور لأننا نعبّر ـ على هذا النحو ـ عن قوانين علم الفلك بلغة أكثر بساطة(*)، فإن كوبرنيك المتوهَم سيقول إنه

(*) وهو أمر فيه نظر تاريخياً لأن مركزية الشمس عند كوبرنيك ليست مجرد فرضية (المترجم).

من الملائم أكثر افتراض أن الأرض تدور، لأننا نعبر ـ على هذا النحو ـ عن قوانين الميكانيكا بلغة أكثر بساطة.

ولا يمنع ذلك أن لا يكون ثمة أي وجود موضوعي للمكان المطلق، أي التغلم الذي نضيف إليه الأرض لنعلم ما إذا كانت تدور بالحقيقة. وعندئذ لن يكون البتة من معنى للقول "الأرض تدور" لأنه لا توجد تجربة يمكنها أن تحققه. ولا يعزى امتناع تلك التجربة إلى عدم إمكان إنجازها، ولا إلى عدم القدرة حتى على أن يحلم بها من كان أكثر جسارة من جول فيرن (Jules Verne) فحسب، وإنما أيضاً لأنه لا يمكن تصورها من دون الوقوع في تناقض.

أو قل بالأحرى إن لهاتين القضيتين "الأرض تدور" و "من الملائم أكثر افتراض أن الأرض تدور" معنىً واحداً، وليس في الأولى من المعنى أكثر ممّا في الثانية.

[١٣٤] وقد لا يكون ذلك كافياً لإقناعنا ولربما نعجب سلفاً من أن يوجد من بين كل الفرضيات، أو قل كل الاصطلاحات الممكن وضعها في هذا السياق، اصطلاح يلائمنا أكثر من غيره.

ولئن سلمنا به عندما يتعلق الأمر بقوانين علم الفلك فلِمَ نعجب منه عندما يتعلق الأمر بالميكانيكا؟

رأينا أنّ إحداثيات الأجسام تتحدد بمعادلات تفاضلية من الرتبة الثانية، وكذلك الشأن بالنسبة إلى فروق تلك الإحداثيات، ذلك هو ما سميناه مبدأ العطالة المعمّم ومبدأ الحركة النسبية. ولو كانت المسافات بين تلك الأجسام محدّدة هي أيضاً بمعادلات من الرتبة الثانية، لوجب ـ على ما يبدو ـ أن يكون الفكر في غاية الرضى. فما مدى ما يبلغه الفكر من الرضى بذلك المبدأ؟ ولم لا يقنع به؟

يحسن بنا ـ لإدراك ذلك ـ أن نضرب مثلاً بسيطاً فأفترض

منظومة مماثلة لمنظومتنا الشمسية، ولكن من دون أن نستطيع - انطلاقاً منها - رؤية نجوم ثابتة تقع خارجها، بحيث لا يتاح للفلكيين إلاّ رصد المسافات المشتركة بين الكواكب والشمس، من دون رصد الطول المطلق لتلك الكواكب. فإذا ما استنبطنا مباشرة من قانون نيوتن، المعادلات التفاضلية التي تحدد تغيّر تلك المسافات، فإنها لن تكون من الرتبة الثانية. وأعني بذلك أنه لو كنّا نعرف - إلى جانب قانون نيوتن - القيم الابتدائية لتلك المسافات، وكنّا نعرف مشتقاتها بالنسبة إلى الزمن، فإن ذلك لن يكون كافياً لتحديد قيم تلك المسافات نفسها في آن لاحق، لأنه سيكون ثمة معطى ناقص يمكن أن يكون - على سبيل المثال - ما يسميه الفلكيون ثابتة المساحات.

ولكن يمكننا ها هنا أن ننظر إلى المسألة من زاويتين مختلفتين، فنميز ضَربين من الثوابت. فالعالم يردّ - من وجهة نظر الفيزيائي - إلى متسلسلة من الظواهر التي لا تخضع إلا للظواهر الابتدائية من ناحية والقوانين التي تربط النتائج بالمقدمات من ناحية [١٣٥]
أخرى. فإذا ما كشفت لنا الملاحظة أن كماً ما هو ثابتة، كان لنا أن نتخيّر إحدى طريقتين للنظر فيه.

فإما أن نسلّم بوجود قانون يقضي بأن لا يتغيّر ذلك الكمّ، وبأنّه من الصدفة أن كانت له تلك القيمة بدل غيرها منذ بداية الزمن فاحتفظ بها. وعندئذ يمكن أن يسمى ذلك الكمّ **ثابتة عرضية**.

وإما أن نسلم - على العكس من ذلك - بوجود قانون طبيعي يفرض لذلك الكم تلك القيمة لا غيرها. وعندئذ سيكون لدينا ما يمكن أن يسمى **ثابتة جوهرية**.

ومثاله أنّ مدّة دوران الأرض يجب أن تكون ثابتة وفقاً لما تقتضيه قوانين نيوتن (Newton). أما أنّ تساوي ٣٦٦ يوماً وبعض اليوم ولا تساوي ٣٠٠ أو ٤٠٠ يوم فذلك مما يعزى إلى ما لست

أدري من ضروب الصدف الابتدائية. إذ الأمر يدور هاهنا على ثابتة عرضية .وعلى العكس من ذلك، إذا كان أسّ المسافة الموجود في صيغة القوة الجاذبة يساوي (٢ـ) لا (٣ـ) فلا يعزى ذلك إلى محض الصدفة، بل هو أمر يقتضيه قانون نيوتن، فالأمر متعلق هاهنا بثابتة جوهرية.

لست أدري إذا كانت هذه الطريقة المتمثلة في أن نحسب للصدفة حسابها، أمراً مشروعاً بحدّ ذاته، وإذا لم يقم ذلك التمييز على شيء من التصنع؛ ولكن الأكيد ـ على الأقل ـ أنه طالما بقيت للطبيعة أسرارها، سوف تكون لدى التطبيق بالغة التعسف وهشة على الدوام.

لقد تعودنا بخصوص ثابتة المساحات أن نعتبرها عرضية. فهل سينحو إزاءها أصحابنا الفلكيون المتوهَّمون هذا المنحى؟ لو تهيأ لهم أن يقارنوا بين منظومتين شمسيتين مختلفتين لخلد بخلدهم أنه يمكن أن تُضفى على تلك الثابتة قيم كثيرة مختلفة. إلا أني افترضت بدايةً أن منظومتهم تبدو كأنها معزولة، وأنهم لا يرصدون أي كوكب غريب عنها. وفي إطار هذه الشروط لن يدركوا إلا ثابتة
[١٣٦] وحيدة ذات قيمة وحيدة لا تتغير إطلاقاً، وسيحملهم ذلك ـ من دون أدنى شك ـ على اعتبارها ثابتة جوهرية.

كلمة عابرة نقولها تحسباً لاعتراضٍ متوقَّع: فلقائل أن يقول إن سكان هذا العالم التوهمي لا يمكنهم لا أن يلاحظوا مثلنا ثابتة المساحات، ولا أن يعرّفوها، لأن الأطوال المطلقة تعوزهم . فنردّ بأن ذلك لا يمنعهم من الانتهاء سريعاً، إلى إدراك أن ثابتة ما تتدخل طبيعياً في معادلاتهم، ولن تكون هذه الثابتة إلاّ ما نسميه نحن ثابتة المساحات.

وما سيجري عندئذ هو الآتي: إذا ما اعتبرنا ثابتة المساحات جوهرية، أي أنها تابعة لقانون طبيعيٍ، كان يكفي لحساب المسافات

الفاصلة بين الكواكب في آن ما، أن نعرف القيم الابتدائية لتلك المسافات وقيم مشتقاتها الأولى. وستكون المسافات ـ من وجهة النظر الجديدة هذه ـ على مقتضى معادلات تفاضلية من الرتبة الثانية.

وهل سيرتاح ـ مع ذلك ـ فكر أولئك الفلكيين كل الارتياح؟ إني أستبعد ذلك لأنهم سرعان ما سيتفطنون ـ بادئ الأمر ـ إلى أنه عند القيام بتفاضل معادلاتهم تفاضلاً يرفع من رتبها، تصبح تلك المعادلات أبسط، وسيشدّ انتباههم خاصة الإشكال اللازم عن التناظر. فينبغي عليهم عندئذ التسليم بقوانين مختلفة، بحسب انتظام مجموع الكواكب على شكل متعدّد سطوح، أو على شكل متعدد سطوح متناظر. ولا مفرّ من تلك النتيجة إلاّ باعتبار ثابتة المساحات عرضية.

وقد ضربت مثالاً خاصاً جداً لأني، كنت افترضت أن أولئك الفلكيين لا يهتمون أصلاً بالميكانيكا الأرضية فتوقف بصرهم عند مشارف النظام الشمسي، لكن استنتاجاتنا تبقى قائمة في كل الحالات. فكوننا أوسع من كونهم، لأن لدينا نجوماً ثابتة، ولكنه ـ مع ذلك ـ محدود هو أيضاً، وقد نستطيع عندئذ التفكر في مجمل كوننا تفكُر أولئك الفلكيين في نظامهم الشمسي.

وهكذا يؤول بنا الأمر في النهاية إلى استنتاج أن المعادلات [١٣٧] التي تعرّف المسافات معادلات من رتبة أعلى من الرتبة الثانية. فلم نعجب لذلك ؟ ولماذا نعتبر أنه من الطبيعي جداً أن ترتبط سلسلة الظواهر بالقيم الابتدائية للمشتقات الأوائل من تلك المسافات، في حين نتردّد في التسليم بأنه من الممكن أن ترتبط القيم الابتدائية من المشتقات الثواني؟ ذلك لا شك راجع إلى عادات في التفكير طبعتها فينا الدراسة المتواصلة لمبدأ العطالة المعمّم ونتائجه.

إن قيم المسافات في آن ما مرتبطة بقيمها الابتدائية، وبقيم مشتقاتها الأوائل وبشيء آخر أيضاً. فما هو هذا الشيء الآخر؟

إذا لم نشأ أن يكون ذلك الشيء ببساطة أحد المشتقات الثواني، فإنه لن يبقى لنا إلاّ اختيار إحدى الفرضيات، كأن نفترض ـ كما جرت العادة ـ أن ذلك الشيء الآخر هو الاتجاه المطلق للكون في المكان أو سرعة تبدّل ذلك الاتجاه. وقد تكون تلك الفرضية أكثر الحلول ملاءمة للمهندس، بل إنها كذلك يقيناً، ولكنها ليست الحل الذي يرتضيه الفيلسوف كل الرضى، لأن ذلك الاتجاه لا وجود له.

ولنا أن نفترض أن ذلك الشيء الآخر هو موقع جسم ما لامرئيّ أو سرعته، وهو ما ذهب إليه بعضهم وسماه بالجسم ألفا ولو أنه كُتب علينا أن لا نعرف من هذا الجسم إلاّ اسمه. وتلك حيلة مشابهة تماماً لتلك التي كنت تحدثت عنها في آخر الفقرة التي ضمنتُها تأملاتي في مبدأ العطالة.

غير أن هذا الإشكال إشكال متصنع إجمالاً. فما دامت البيانات التي ستوفرها لنا أدواتنا لا يمكنها إلا أن تكون مرتبطة بتلك التي كانت قدمتها لنا، أو قل كان يمكن أن تقدمها لنا، فإن في ذلك وحده ما يكفي. ولنهدأ من هذه الجهة بالاً.

الفصل الثامن

الطاقة والديناميكا الحرارية

دفع ما أثارته الميكانيكا الكلاسيكية من مصاعب بعضَ [١٣٩]
المفكرين إلى أن يفضلوا عليها نسقاً جديداً سموه **علم الطاقة**.

وقد نشأ هذا النظام الطاقوي اثر اكتشاف مبدأ بقاء الطاقة وكان **هلمهولتز** (Helmholtz) هو الذي أضفى عليه شكله النهائي.

نبدأ بتعريف كمّين يلعبان دوراً أساسياً في هذه النظرية وهما **الطاقة الحركية** أو القوة الحية من ناحية **والطاقة الكامنة** من ناحية أخرى.

قانونان تجريبيان يحكمان كل التغييرات التي يمكن أن تطرأ على الأجسام الطبيعية:

١ ـ مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكامنة هو ثابتة، وذلك هو مبدأ بقاء الطاقة.

٢ ـ إذا ما وجد كيان من الأجسام في الوضع A في الزمن t_0 وفي الوضع B في الزمن t_1 كان انتقاله من الوضع الأول إلى الوضع الثاني دائماً عبر مسار خاصيته أن يكون متوسط الفرق بين نوّعي الطاقة خلال المجال الزماني الفاصل بين المدّتين t_0 وt_1 أصغر ما يكون.

ذلك هو مبدأ هاملتون (Hamilton) وهو شكل من أشكال مبدأ الفعل الأدنى.

وتفضّل نظرية الطاقة النظرية الكلاسيكية من الوجهين التاليين:

[١٤٠] ١ ـ فهي أقل منها نقصاً ومعناه أن مبدأ بقاء الطاقة ومبدأ هاملتون يفيداننا من العلم أكثر مما تفيدنا المبادئ الأساسية للنظرية الكلاسيكية. ثم إنهما يلغيان بعض الحركات التي لا تأتيها الطبيعة، مع أنها حركات تتماشى والنظرية الكلاسيكية.

٢ ـ وهي تعفينا من الفرضية الذرية التي يكاد يكون من المحال تجنبها في النظرية الكلاسيكية.

غير أن نظرية الطاقة تثير بدورها مصاعب جديدة. فتعريفا الضربين من الطاقة لا يكادان يفوقان تعريفي القوة والكتلة في النسق الأول يسراً إلا في القليل، ولو أننا نستطيع التعامل معهما تعاملاً أيسر على الأقل في الحالات الأبسط.

لنفترض نظاماً معزولاً كُوّن من عدد ما من النقاط المادية، ولنفترض أن تلك النقاط خاضعة لقوى لا ترتبط إلاّ بمواقع تلك النقاط النسبية وبمسافاتها البينية، وأنها مستقلة عن سرعاتها النسبية. فمن الضروري بمقتضى مبدأ بقاء الطاقة، أن توجد دالةٌ للقوى.

في هذه الحالة البسيطة، تكون صياغة مبدأ بقاء الطاقة على غاية من البساطة، وهي أن كمّاً ما، هو في متناول التجربة، يبقى ثابتاً بالضرورة. وهذا الكم هو مجموع عنصرين، أولهما مرتبط بموقع النقاط المادية وحده وهو مستقل عن سرعاتها، وثانيهما متناسب مع مربع تلك السرعات، ولا يمكن إجراء هذا التحليل إلا بطريقة وحيدة.

أول هذين العنصرين وأسميه U سيمثل الطاقة الكامنة،

وثانيهما وأسميه T سيمثل الطاقة الحركية. صحيح أنه إذا كان المجموع T+U ثابتة، كان الأمر كذلك بالنسبة إلى دالة ما من دالات T+U ولتكن:

$$\varphi\ (T+U)$$

غير أن هذه الدّالة φ (T+U) لن تكون مجموع عنصرين أحدهما مستقل عن السرعات والآخر متناسب مع مربع تلك السرعات. فليس ثمة من بين الدّالات الثابتة إلا دالة واحدة تتمتع [١٤١]
بتلك الخاصية وهي T+U أو دالة خطية للمجموع T+U هو ما لا يغيّر من الأمر شيئاً باعتبار أن تلك الدالة الخطية يمكن ردها دائماً إلى T+U وذلك بتغيير في الوحدة والمنطلق). وذلك هو ما نسميه عندئذ الطاقة. والعنصر الأول هو الذي نسميه الطاقة الكامنة والثاني الطاقة الحركية. هكذا يمكن المضي قدماً في تعريف هذين الضربين من الطاقة ـ من دون أي لبس ـ إلى أبعد حدّ.

وكذلك هو الشأن في تعريف الكتل حيث يقع التعبير ببساطة عن الطاقة الحركية أو القوة الحية باستخدام كتل جميع النقاط المادية وسرعاتها النسبية باعتماد واحدة منها إحداثيةً. وهذه السرعات النسبية هي سرعات تمكن معاينتها. وبالحصول على صيغة الطاقة الحركية كدالّة من تلك السرعات النسبية، تمدنا معامِلات تلك الصيغة بالكتل.

وهكذا يكون باستطاعتنا في هذه الحالة البسيطة، أن نعرّف المفاهيم الأساسية من دون صعوبة. غير أن المصاعب تعاود الظهور في الحالات الأكثر تعقيداً. ومثاله إذا كانت القوى لا ترتبط بالمسافات وحدها بل بالسرعات أيضاً. من ذلك أن فيبر (Weber) يفترض أن الفعل المتبادل بين جزيئين كهربائيين لا يُرتبط بالمسافة الفاصلة بينهما فحسب، بل كذلك بسرعتيهما وتسارعيهما.فإذا كانت النقاط المادية تتجاذب وفقاً لقانون مماثل،

ارتبطت U بالسرعة وأمكن أن تتضمّن حدّاً يتناسب مع مربع تلك السرعة.

فكيف نميز من بين الحدود المتناسبة مع مربع الزمن بين ما هو صادر عن T وما هو صادر عن U؟ وكيف نميّز بالتالي بين جزأي الطاقة؟

بل إن الأمر أبعد من ذلك: كيف نعرّف الطاقة ذاتها؟ فلم يعد ثمّة ما يدعو إلى أن تؤخذ الصيغة T+U على أنها تعريف للطاقة بدل أية دالة أخرى من المجموع T+U في حالة اختفاء الخاصية التي كانت تميز T+U، وهي كونها مجموع عنصرين من نوع خاص.

[١٤٢] وأضف إلى ما سبق، أنه من الضروري ألا نأخذ في الاعتبار الطاقة الميكانيكية بالمعنى الدقيق وحدها، بل كذلك أشكال الطاقة الأخرى كالحرارة والطاقة الكيميائية والطاقة الكهربائية الخ... وعندئذ وجب أن يكتب مبدأ بقاء الطاقة على النحو التالي:

$$T+U+Q = \text{ثابتة}$$

حيث ترمز T إلى الطاقة الحركية المحسوسة، و U إلى طاقة الموقع الكامنة، وهي مرتبطة بمواقع الأجسام فقط، و Q إلى الطاقة الداخلية سواء في شكلها الحراري أو الكيميائي أو الكهربائي.

ولو كانت تلك الحدود الثلاثة متمايزة، لكان كل شيء على ما يرام، وأعني بذلك أنه لو كانت T متناسبة مع مربع السرعات وكانت U مستقلة عن تلك السرعات وعن حالة الأجسام وكانت Q مستقلة عن السرعات وعن مواقع الأجسام ولا ترتبط إلا بحالتها الداخلية، لما أمكن عندها أن تحلّل صيغة الطاقة إلى حدود ثلاثة من ذلك القبيل، إلا بطريقة واحدة.

غير أن الأمر لا يجري هذا المجرى. لنعتبر أجساماً مكهربة. فمن البديهي أن ترتبط الطاقة الكهروستاتيكية المتولدة عن تبادل الأفعال بينها بشحنات تلك الأجسام أي بحالتها، ولكنها ترتبط أيضاً بمواقعها. وإذا كانت تلك الأجسام متحركة فسيفعل الواحد منها في الآخر كهروديناميكياً. وعندها لا ترتبط الطاقة الكهروديناميكية بحالة الأجسام ومواقعها فحسب، بل بسرعاتها أيضاً.

لم تعد في حوزتنا إذاً أية وسيلة للتمييز بين الحدود المنتمية وجوباً إلى كل من T وU وQ، ولا للتفريق بين أجزاء الطاقة الثلاثة.

وإذا كان المجموع (T+U+Q) ثابتاً كان الأمر على ذلك النحو مهما كانت الدالة:

$$\varphi\,(T+U+Q)$$

وإذا كانت الصيغة T+U+Q على الشكل الخاص الذي سبق لي أن نظرت فيه، فلن يترتب عنها أي لبس لأنه لا وجود بين الدوال $\varphi\,(T+U+Q)$ التي تبقى ثابتة، إلاّ لدالة واحدة هي على ذلك الشكل الخاص. وتلك هي التي اصطلح على تسميتها بالطاقة.

لكن سبق أن قلت إن الأمر ليس كذلك تدقيقاً، لأنه لا [١٤٣] توجد من بين الدوالّ التي تبقى ثابتة دالة يمكن تدقيقاً أن تأخذ الشكل الخاص. فكيف لنا عندها أن نختار من بينها الدالة التي يجب أن تسمى طاقة؟ والحال أنه لم يعد لنا من شيء نهتدي به في اختيارنا.

لم تبق لنا إلا مجرد صياغة نخص بها مبدأ بقاء الطاقة وهي أن ثمة شيئاً ما يبقى ثابتاً.

ويظل هذا المبدأ بدوره في صياغته تلك في مأمن من أن تطوله التجربة، فينحسر إلى ضرب من ضروب تحصيل الحاصل، إذ من البديهي أنه إذا كان العالم خاضعاً لقوانين فستكون ثمة كموم ثابتة. ومبدأ حفظ الطاقة أُسّس ـ مثله مثل قانون نيوتن (Newton) ولسبب مشابه ـ على التجربة ولن يمكن للتجربة أن تفنّده.

ويبيّن لنا هذا النقاش أننا حققنا تقدماً بالانتقال من النسق الكلاسيكي إلى النسق الطاقوي، ولكنه يكشف لنا في الوقت ذاته، أن هذا التقدم غير كاف.

فثمة اعتراض آخر يبدو لي أكثر أهمية حيث إن مبدأ الفعل الأدنى ينطبق على الظواهر الاعتكاسية ولكنه غير كاف البتة حين يتعلق الأمر بالظواهر اللااعتكاسية، ولم تنجح محاولة هلمهولتز (Helmholtz) في تعميمه على هذا النوع من الظواهر وما كان لها أن تنجح فيه، لذلك بقيت مهام كثيرة تنتظرنا في هذا الاتجاه.

فحتى صياغة مبدأ الفعل الأدنى تلتئم على معنى ما يحتار له الفكر إذ نقول إن جُزيئاً مادياً ما، غير خاضع لفعل أية قوة، لكنه ملزم بالتحرك على مساحة ما، يسلك ـ عند انتقاله من نقطة إلى أخرى ـ الخط الهندسي الأقصر أو قلْ أقصر السبل.

فكأنما ذلك الجزيء يعرف النقطة التي يقاد إليها، ويتوقع الزمن الذي سيستغرقه بلوغها، باتباع هذا أو ذاك من السبل فيختار أحسنها. فالصياغة تتحدث عنه وكأنما هو كائن متنفّس حر. لذلك
[١٤٤] كان من الجليّ أنه يجدر بنا استبدال تلك الصياغة بصياغة أقل صدماً للفكر حتى لا تبدو العلل الغائية وكأنها أخذت موقع العلل الفاعلة كما يقول الفلاسفة.

الديناميكا الحرارية ـ تتزايد يوماً بعد يوم في كل فروع الفلسفة الطبيعية أهمية دور المبدأين الأساسيين في الديناميكا

الحرارية. فبعد أن تخلينا عن النظريات الطَّموح التي أقمناها منذ أربعين سنة خلت وهي نظريات أربكتها فرضيات الجزيئات، ها نحن اليوم نسعى إلى تشييد صرح الفيزياء الرياضية برمته، على الديناميكا الحرارية وحدها. فهل سيضمن له مبدأ ميير (Meyer) وكلوزيوس (Clausius) أسساً تكفي متانتها ليدوم هذا الصرح بعض الوقت؟ ما من أحد يشك في ذلك. ولكن من أين لنا بهذا الاطمئنان؟

قال لي يوماً أحد كبار علماء الفيزياء وهو يحدثني عن قانون الأخطاء إن الناس أجمعين يؤمنون به إيماناً قوياً، لأن علماء الرياضيات يتصورونه واقعة من وقائع التجربة، في حين يذهب المجرّبون إلى أنه مبرهنة من المبرهنات الرياضية.

وكذلك كان الشأن زمناً طويلاً بالنسبة إلى مبدأ بقاء الطاقة وقد تغير الأمر اليوم. فما من أحد يجهل أنه واقعة تجريبية.

ولكن من أين لنا أن نضفي على المبدأ ذاته صفة أعمّ وأدقّ ممّا نضفي على التجارب التي استخدمت للبرهنة عليه؟ وسؤالي يتعلق بمشروعية تعميم المعطيات الأمبيريقي على نحو ما نفعل ذلك كل يوم. وسأتحاشى ما في الخوض في هذه المسألة من رقاعة بعد أن ذهب سدى ما بذله الفلاسفة من جهد للفصل فيها. بيد أنه يقوم هاهنا يقين وحيد وهو أنه لو امتنع انتزعت منا موهبة التعميم، لما وُجد العلم أو على الأقل لصار ضرباً من لوائح الجرد، أو ضرباً من تسجيل الوقائع المنفصلة فلن تكون له أية قيمة عندنا، لقصوره عن تلبية حاجتنا إلى النظام والانسجام فضلاً عن عجزه عن استباق [١٤٥]
ما سيقع. ولما كان الأقرب إلى الحق أن الظروف التي سبقت حدوث واقعة ما لا تتكرر البتة دفعة واحدة، وجب بدءاً القيام بتعميم أول لنستشرف ما إذا كانت تلك الواقعة ستجدد مرة أخرى بمجرد أن يتغير أدنى ظرف من تلك الظروف.

غير أن كل قضية يمكن أن تعمّم بأساليب لا حصر لها، فوجب أن نختار واحدًا من بين جميع التعميمات الممكنة، ولا يسعنا إلا أن نختار أبسطها. وهكذا ننساق إلى أن نتصرف، وكأن القانون البسيط، - إذا ما تساوت كل المعطيات ـ أكثر احتمالاً من القانون المعقّد.

وقد كان ذلك ـ منذ نصف قرن مضى ـ مما يُعترف به جهاراً على غرار ما كان يقال صراحة بأن الطبيعة تحب البساطة، إلاّ أنّها كثيراً ما سفهتنا منذ ذلك الحين، حتى أننا لم نعد اليوم نعترف بذلك المنزع فلم يبق منه إلا ما يحتاج إليه كي لا يصبح العلم مستحيلاً.

وبالتالي فعندما نصوغ قانوناً عاماً بسيطاً ودقيقاً بعد إجراء تجارب قليلة العدد نسبياً فضلاً عما فيها من الاختلافات، فإننا لا نذهب أبعد من الخضوع لضرورة ليس للفكر الإنساني أن يتخلّص منها.

غير أن ثمة شيئاً آخر، وهو ما يدفعني إلى الإلحاح.

ما من أحد يشك في أن مبدأ ميير (Meyer) مدعو إلى أن يعمّر بعد ذهاب جميع القوانين الخاصة التي اشتق منها كما عمّر قانون نيوتن بعد قوانين كبلر التي صدر عنها، والتي لم تكن ـ إذا ما أخذنا في الاعتبار ظواهر الاضطرابات ـ إلاّ قوانين تقريبية.

فلم تصدّر هذا المبدأ ـ من بين جميع القوانين الفيزيائية ـ مكانة مرموقة؟ لذلك أسباب صغرى كثيرة.

ومن أولها أننا نعتقد أنه لا يمكننا رفضه ولا حتى الشك في صرامته المطلقة، من دون أن نسلم بإمكان الحركة الدائمة.

[١٤٦] ونحن ندفع عن أنفسنا بالطبع هذا المنزع، مؤمنين أننا سنكون أقل تهوراً لو أكدنا ذلك المبدأ بدل أن ننفيه.

وقد لا يكون ما ذهبنا إليه صحيحاً تماماً، لأن القول باستحالة الحركة الدائمة، لا يلزم عند القول ببقاء الطاقة إلا بالنسبة إلى الظواهر الاعتكاسية.

ثم إن بساطة مبدأ مبير (Meyer) القاهرة تساهم بدورها في ترسيخ إيماننا به. فكلما وجدنا تلك البساطة في قانون استنبط من التجربة مباشرة، مثلما هو الشأن بالنسبة إلى قانون ماريوت (Mariotte) كانت أدعى إلى الريبة. غير أن الأمر هاهنا لم يعد يجري على ذلك النحو، لأننا نرى كيف تندرج عناصر ـ نحكم أوّل ما نحكم بتناثرها ـ في نظام غير متوقع، فتشكل كلاً متجانساً. وإنا لنربأ بأنفسنا عن أن يذهب بنا الظن إلى أنه يمكن أن يحصل انسجام، لم نكن نتوقعه، عن مجرد الصدفة. ويبدو أن مكسبنا يكون عندها أكبر قيمة، على قدر ما نبذل من جهد في تحصيله، أو قل إننا نكون أرسخ يقيناً بأننا سلبنا الطبيعة سرها الحقيقي، على قدر ما تبدو لنا حريصة على أن تحجبه عنا.

ولكن تلك الأسباب ليست إلا أسباباً صغرى، لأن الارتقاء بقانون مبير (Meyer) إلى مبدأ مطلق يتطلّب نقاشاً أعمق، وإذا ما سعينا في ذلك أدركنا أن ذلك المبدأ المطلق يستعصي حتى على الصياغة.

فنحن ندرك جيداً ـ في كل حالة جزئية ـ ماهية الطاقة، ونستطيع أن نعرّفها تعريفاً مؤقتاً، ولكن من المحال أن نعرّفها التعريف التام.

وإذا ما رغبنا في صياغة هذا المبدأ في أعم أشكاله مطبقين إيّاه على الكون، لمسنا أنه ينقرض حتى لا يبقى منه إلا هذا: ثمة شيء ما يبقى ثابتاً.

وهل لذلك من معنى ؟ إن حالة الكون تتحدد في النظرية الحتمية بعدد لا حصر له من الوسائط هو العدد n . سأسمي تلك الوسائط x_1 و $x_2 \ldots x_n$ وبمجرد معرفة قيم تلك الوسائط n في آن ما، نعرف كذلك مشتقاتها بالنسبة إلى الزمن ويمكننا بالتالي
حساب قيمها هي نفسها في آن سابق أو آن لاحق، أو قل إن [١٤٧]
تلك الوسائط n ، تستجيب لعدد n، من المعادلات التفاضلية من الرتبة الأولى.

ثم إن تلك المعادلات تحتمل $n-1$ تكاملاً وعلى هذا النحو يكون ثمة $n-1$ دالة من x_1 وx_2 وx_n تبقى ثابتة. فقولنا عندئذ «إن شيئاً ما يبقى ثابتاً إنما هو من تحصيل الحاصل، ولسوف نتردد حتى في تعيين أيّة معادلة من بين تلك المعادلات التكاملية ينبغي لها أن تحتفظ باسم الطاقة.

أضف إلى ذلك أنّ مبدأ ميير (Meyer) لا يفهم على ذلك النحو عند سحبه على كيان محدود.

وعندها نسلم بأن p وسيطاً من بين x يتبدل بشكل مستقل بحيث لا نحصل إلا على $n - p$ من العلاقات بين تلك الوسائط n أو بين مشتقاتها، تكون تلك العلاقات ـ عموماً ـ علاقات خطية.

لنفترض ـ تسهيلاً للصياغة ـ أن مجموع أشغال القوى الخارجية يساوي صفراً، وأن الأمر كذلك بالنسبة إلى مجموع كميات الحرارة المنقولة إلى الخارج، عندئذ سيكون معنى ذلك المبدأ ما يلي:

ثمة تركيبة من هذه العلاقات $n - p$ التي يكون الطَّرف الأول فيها معادلة تفاضلية دقيقة. ولمّا كانت تلك التفاضلية التامة مساوية لصفر بمقتضى العدد $n - p$ من العلاقات، شكّل تكاملها ثابتة. وهذا التكامل هو الذي نسميه طاقة.

أما كيف اتفق أن وجدت عدة وسائط مستقلة التبدل، فذلك مما لا يمكن أن يحدث إلا بتأثير القوى الخارجية (على الرغم من أننا سلمنا طلباً للتبسيط بأن المجموع الجبري لقوى الأشغال صفر). وإذا كان النظام بالفعل معزولاً تماماً عن كل تأثير خارجي فإن قيم الوسائط x في اللحظة المحددة، كافية لتحديد حالة ذلك النظام في اللحظة اللاحقة، شريطة الالتزام بالفرضية الحتمية. وهكذا نقع من جديد على الصعوبة ذاتها التي اعترضتنا سابقاً.

فإن لم تكن حالة النظام المستقبلية محددة تماماً بحالته الراهنة، فذلك دالّ على أنها ترتبط كذلك بحالة الأجسام الخارجة [١٤٨]
عنه. ولكن هل يحتمل عندها أن توجد من بين الوسائط x المحددة لحالة النظام معادلات، مستقلة عن حالة الأجسام الخارجية هذه؟ وإذا ذهبنا في بعض الحالات إلى القول بحصول ذلك، أفلا يكون ادعاؤنا ذاك بسبب جهلنا لا غير، ولأن تأثير تلك الأجسام على غاية من الضآلة، بحيث لا يتأتى للتجربة أن تقف عليه؟

وإذا لم يعتبر النظام معزولاً تماماً، كان من المحتمل أن تكون صياغة طاقته الداخلية صياغة صارمة الدّقة، مرتبطة بحالة الأجسام الخارجية. وعلى الرغم من أني كنت افترضت في ما سبق، أن مجموع الأعمال الخارجية صفر، فإذا شئنا التخلص من هذا الحصر الذي لا يخلو من تصنع، أصبحت تلك الصياغة أصعب بكثير.

تقتضي إذاً صياغة مبدأ ميير (Meyer) صياغة تضفي عليه معنى مطلقاً، أن يطّبق على الكون برمته. وعندها نجد أنفسنا أمام الصعوبة ذاتها التي عملنا على تجنبها.

وباختصار أقول ـ في لغة عادية ـ إنه ليس لمبدأ بقاء الطاقة سوى معنى واحد وهو أنه ثمة خاصية تشترك فيها جميع الممكنات. ولكن لا وجود في الفرضية الحتمية إلا لممكن واحد وبالتالي لم يكن فيها لهذا القانون أي معنى.

أما في الفرضية اللاحتمية فهو سيكتسي ـ على العكس من ذلك ـ معنى، حتى لو أردنا أخذه على جهة الإطلاق. وسيبدو* القانون في ذلك الأفق وكأنه حدّ مفروض على الحرية.

ولكن كلمة الحرية هذه تنذرني بأني قد تهت وبأني سأخرج عن مجال الرياضيات والفيزياء، وعليه فإني أقف عند هذا الحد مكتفياً بانطباع واحد أخرج به من كل هذا النقاش، وهو أن قانون ميير (Meyer) إطار على درجة من المرونة يتيح لنا بأن نزج فيه بكل ما أردنا. ولست أعني بذلك أنه لا يطابق أي واقع موضوعي، ولا أنه يرَدُّ إلى مجرد تحصيل حاصل لأنه يكتسي في كل حالة خاصة معنى غاية في الوضوح ما لم تتعلق الإرادة بالارتقاء به إلى المطلق.

[١٤٩] وتمثل تلك المرونة سبباً يدعو إلى القول بطول بقاء ذلك القانون، إذ لما كان لا يختفي إلا لينصهر في تناسق أسمى، كان لنا أن نعمل في اطمئنان مستندين إليه، واثقين سلفاً أن عملنا لن يذهب جفاء.

ويقال كل ما سبق تقريباً على قانون كلوزيوس (Clausius) الذي تميز بكونه صيغ في شكل متباينة. ولقائل إن يقول إن الأمر كذلك في كل القوانين الفيزيائية، باعتبار أن دقتها محددة دائماً بأخطاء الملاحظة. ولكنها قوانين تتباهى، على كل حال، بأنها من قبيل المقاربات الأولى. والأمل معقود على تعويضها يسيراً يسيراً بقوانين متزايدة الدّقة.

أما قانون كلوزيوس (Clausius)، فإنه اختُزل ـ على العكس من ذلك ـ في متباينة وليس السبب في ذلك ما في وسائل الملاحظة عندنا من النقص، بل طبيعة المسألة ذاتها.

استنتاجات عامة
خاصة بالقسم الثالث

[١٥١] تبدو لنا مبادئ الميكانيكا في مظهرين مختلفين. فهي من ناحية حقائق أسست على التجربة ووقع التحقق منها في ما يتعلق بالأنظمة شبه المعزولة تحققاً على غاية من التقريب. وهي من ناحية أخرى ـ مصادرات تقبل التطبيق على مجمل الكون وتؤخذ على أنها صحيحة صحة صارمة.

وإن تميزت تلك المصادرات بعمومية ويقين لا نظير لهما في الحقائق التجريبية التي اشتقت منها، فلأنها ترد في آخر تحليل إلى مجرد اصطلاح يحقّ لنا وضعه، يقيناً منا مسبقاً، أنه ما من تجربة يمكن أن تنقضه.

غير أن هذا الاصطلاح ليس تعسفياً على الإطلاق، فهو لم يصدر عن هوى، بل إنما تبيناه لأن بعض التجارب أبانت لنا أنه اصطلاح ملائم.

وهكذا نتبين كيف كان للتجربة أن تنشئ مبادئ الميكانيكا ولِمَ لا يمكنها ـ مع ذلك ـ أن تفندها.

ولنقارن ذلك بما يجري في الهندسة، حيث لا تكون القضايا الأساسية مثل مصادرة إقليدس إلا اصطلاحات ليس في التساؤل عما إذا كانت صحيحة أو خاطئة من خروج عن الصواب أقل مما في التساؤل عن صحة النظام المتري أو خطئه.

[١٥٢] فتلك الاصطلاحات ملائمة ليس إلا، وهو ما تعلّمنا إياه بعض التجارب.

والتشابه تام من الوهلة الأولى بين الميكانيكا والهندسة حيث يبدو دور التجربة واحدًا في الحالتين. ولذا أوشكنا أن نسوّل لأنفسنا القول بأنه إما أن تُعتبر الميكانيكا علماً تجريبياً وعندها وجب أن

يكون الأمر كذلك بالنسبة إلى الهندسة، وإما أن تكون الهندسة علماً استنباطياً وعندها وجب أن يقال الشيء ذاته في الميكانيكا.

وقد يكون مثل هذا الاستنتاج غير مشروع، لأن التجارب التي أفضت بنا إلى تبني الاصطلاحات الهندسية الأساسية باعتبارها اصطلاحات ملائمة، تتصل بموضوعات بينها وبين الموضوعات التي تدرسها الهندسة. فهي تجارب متصلة بخاصيات الأجسام الصلبة وانتشار الضوء على الاستقامة. إنها تجارب ميكانيكية وبصرية، ولا يمكن البتة اعتبارها تجارب هندسية. وحتى السبب الرئيسي الذي من أجله اعتبرنا هندستنا ملائمة إنما هو كامن في أن مختلف أجزاء جسدنا كالعين أو الأعضاء تتمتع تدقيقاً بخصائص الأجسام الصلبة. وبهذا التقدير كانت تجاربنا الأساسية ـ قبل كل شيء ـ تجارب فيزيولوجية ولا تعلّق لها بالمكان الذي يدرسه المهندس، بل بجسده أي بالأداة التي يستخدمها لإجراء تلك الدراسة.

أما الاصطلاحات الأساسية في الميكانيكا والتجارب التي تبين لنا أنها اصطلاحات ملائمة فهي تتعلق ـ على العكس من الأولى ـ تعلقاً أكيداً بالموضوعات ذاتها، أو بموضوعات شبيهة بها، ذلك أن المبادئ الاصطلاحية العامة إنما هي تعميم طبيعي مباشر لمبادئ تجريبية جزئية.

وليس لأحد أن يؤاخذني برسم حدود مصطنعة بين العلوم، وبأني إذا أقمت حاجزاً بين الهندسة بالمعنى الدقيق ودراسة الأجسام الصلبة، سهل عليّ أن أقيم حاجزاً بين الميكانيكا التجريبية
والميكانيكا الاصطلاحية القائمة على مبادئ عامة. ومن لا يدرك أنه [١٥٣
إذا فُصل هذان العلمان صارا أبترين، وأن ما سيبقى من الميكانيكا الاصطلاحية إذا ما عزلت، لن يكون شيئاً يذكر ولا يقارن بحال من الأحوال بهذه النظرية الهائلة التي نسميها هندسة؟

ونحن ندرك الآن لم وجب أن يبقى تدريس الميكانيكا تجريبياً. فبهذه الطريقة وحدها يمكن لهذا التدريس أن يفهمنا نشأة العلم، وهو أمر لا محيد عنه لفهم العلم نفسه فهماً جيداً.

ثم إنا إذا ما درسنا الميكانيكا، فلكي نعمل بها وهو ما لا يتهيأ لنا إلا إذا بقيت موضوعية، والحال أن ما تستفيده المبادئ من جهة العموم واليقين، تفقده من جهة الموضوعية. وبالتالي كان يجدر بنا خاصة أن نتمرس مبكّراً بالجانب الموضوعي من المبادئ، وهو ما لا يتاح لنا إلا متى انتقلنا من الجزئي إلى العام بدل انتهاج المسيرة العكسية.

إن المبادئ اصطلاحات وتعريفات مقنعة، ومع ذلك فهي مستخرجة من قوانين تجريبية وقع الارتقاء بها إلى مصاف مبادئ يضفي فكرنا عليها قيمة مطلقة.

ولقد غالى بعض الفلاسفة في التعميم فذهبوا إلى أن المبادئ هي العلم كله، وبالتالي فإن العلم برمته اصطلاحي.

وهذا المذهب الغريب الذي وُسِم بالاسمانية لا يصمد للاختبار.

كيف لقانون ما أن يصبح مبدأ؟ كان القانون يعبر عن علاقة بين حدّين واقعين A و B، ولكنه لم يكن صحيحاً صارم الصحة بل تقريبياً فحسب، فأقحمنا فيه بمنتهى التحكم وسيطاً شبه توهمي C. وهذا الوسط C هو ـ **بمقتضى التعريف** ـ الحد الذي تكون له تدقيقاً بالحد A العلاقة التي يعبر عنها القانون.

[١٥٤] وعلى هذا النحو ينقسم مبدأُنا إلى مبدأ مطلق صارم يعبر عن العلاقة بين A و C ، وقانون تجريبي تقريبي قابل للمراجعة يعبر عن العلاقة بين C وB. ومن البيّن أنه مهما أوغلنا في ذلك التقسيم فستكون ثمة دائماً قوانين.

وسندخل الآن مجال القوانين بالمعنى الصحيح.

القســم الرابــع

الطبيعـة

الفصل التاسع

الفرضيات في الفيزياء

دور التجربة والتعميم ـ التجربة هي المصدر الوحيد للحقيقة [١٥٧] فهي وحدها التي تعلمنا شيئاً جديداً، وهي وحدها التي يمكنها أن تهبنا اليقين، تلكما مسألتان ليس لأحد أن ينكرهما.

ولكن إذا كانت التجربة هي العمدة الوحيدة فأية مكانة عندئذ ستبقى للفيزياء الرياضية؟ وما عسى أن تفعل الفيزياء التجريبية بهذا الرافد الذي لا نفع منه على ما يبدو، بل ربما كان خطراً.

ومع ذلك فإن الفيزياء الرياضية موجودة وقدمت خدمات لا تنكر. فهاهنا إشكال من الضروري تفسيره.

ذلك أن الملاحظة وحدها لا تكفي، بل ينبغي استخدام ملاحظاتنا، وهو ما يقتضي منا التعميم. وهو ما قمنا به منذ أقدم العصور، غير أنه لما كانت ذكرى أخطاء الماضي صيّرت الإنسان حذراً أكثر فأكثر ، أصبحنا نلاحظ أكثر فأكثر ونعمم أقلّ فأقلّ.

لقد كان كل قرن يهزأ من القرن الذي سبقه متهماً إياه بالتسرّع في التعميم بكثير من السذاجة. وكان ديكارت (Descartes) يشفق على الأيونيين (Ioniens) فإذا به يصبح بدوره مدعاة للابتسام، ولا ريب أن أطفالنا سيضحكون منا يوماً ما.

أفلا يتاح لنا عندئذ أن ننطلق مباشرة حتى نبلغ منتهانا؟ ألا يكون بلوغ المنتهى سبيلاً للخلاص من تلك السخرية التي تنتظرنا؟ ألا يمكننا الاكتفاء بالتجربة خالصة؟

[١٥٨] كلا. فذلك أمر محال، وهو دال على جهل تام بخاصية العلم الحقيقية، تلك التي توجب على العالم أن ينظّم. فنحن ننشئ العلم انطلاقاً من الوقائع كما نبني منزلاً باستعمال الحجارة، غير أن تكديس الوقائع لا يكون علماً، إلاّ على قدر ما يكون ركام من الحجارة منزلاً.

فعلى العالم قبل كل شيء أن يتوقع. كتب كارليل (Carlyle) في بعض ما كتب، شيئاً أقرب ما يكون إلى ما يلي: «الواقعة وحدها تهمنا. لقد مر جان سان تير (Jean sans Terre) من هنا. ذلك هو الأمر الرائع وذلك هو الواقع الذي أضحّي من أجله بجميع نظريات الدنيا». وكان كارليل (Carlyle) من مواطني بلد بايكون (Bacon). ولكن بايكون ما كان ليقول بما قاله. فلغة كارليل هي لغة المؤرخ، أما الفيزيائي فسيقول بالأحرى: «لقد مرّ جان سان تير من هنا. هذا الأمر لا يعنيني، لأنه لن يعاود المرور من هنا».

نعلم جميعاً أنه توجد تجارب جيدة وتجارب سيئة، وشأن التجارب السيئة أن تتراكم بلا جدوى، سواء عدت بالمئات أو بالألوف، إذ يكفي عمل واحد يقوم به خبير مقتدر مثل باستور (Pasteur) ليطويها النسيان. وقد كان بمستطاع بايكون (Bacon) أن يدرك ذلك جيداً، فهو الذي ابتكر عبارة التجربة الحاسمة (Experimentum Crucis) خلافاً لكارليل (Carlyle) الذي كان يقف عند الواقعة لا يتجاوزها. فلا أهمية عنده لئلاّ يحتاط التلميذ عند قراءته العدد كذا على المحرار، بل المهم عنده أن التلميذ قد قرأ العدد، وإذا لم يكن ليعتدّ إلا بالواقعة فلأنها تمثل

عنده حقيقة من قبيل رحلات الملك جان سان تير (Jean-sans-Terre). فلماذا كانت الواقعة المتمثلة في أن هذا التلميذ قام بتلك القراءة واقعة لا نفع فيها؟ ولماذا كانت الواقعة المتمثلة في إمكان قيام فيزيائي ماهر بقراءة أخرى واقعةً ـ على العكس من الأولى ـ على غاية من الأهمية؟ ذلك لأننا لا نستطيع استنتاج أي شيء من القراءة الأولى. فما هي إذاً التجربة الجيدة؟ إنها تلك التي تجعلنا نعرف شيئاً آخر غير الواقعة المعزولة. إنها تلك التي تتيح لنا التوقع أي تلك التي تمكّننا من التعميم.

ذلك أن التوّقع من دون تعميم محال، فالظروف التي عملنا فيها لا تتكرر البتة دفعة واحدة، وبالتالي فلا يمكن للواقعة الملاحظة أن تعود أبداً، ونحن لا نستطيع إلاّ تأكيد أمر واحد، وهو أن واقعة مماثلة ستجدّ في ظروف مماثلة. لذلك كان التوقع [١٥٩]
يقتضي ـ على الأقل ـ اللجوء إلى القياس الذي هو ضرب من التعميم.

ومهما بلغ الحذر منا مبلغه، فإنه علينا أن نقوم بعملية الاستكمال، إذ إن التجربة لا تمدنا إلا بعدد من النقاط المعزولة، فلا بد من الربط بينها بخط متواصل، وفي ذلك العمل تعميم حقيقي، بل إننا نقوم بأكثر من ذلك. فالمنحني الذي سنرسمه سيمر بين النقاط الملاحظة وبجانبها، من دون أن يمر بها هي ذاتها. وهكذا فإننا لا نقف عند تعميم التجربة، بل نحن نصححها، وسيجد الفيزيائي، الذي يمتنع عن القيام بتلك التصحيحات، مكتفياً فعلاً بالتجربة الخام، نفسه مكرهاً على صياغة قوانين غريبة حقاً.

فما كان إذاً للوقائع الخام أن تكفينا، ولذلك كان علينا أن نطلب العلم المرتّب أو بالأحرى العلم المنظّم.

* وكثيراً ما يقال: قم بالتجربة بلا أفكار مسبقة، وهذا أمر محال، لا لأنه يجعل كل التجارب عقيمة فحسب، بل أيضاً لأنه

لا يتهيأ لنا لو أردناه، حيث إن كل واحد منا يحمل في نفسه رؤيةً للعالم، ولا يمكنه التخلص منها بيسر. فعلينا مثلاً أن نستعمل اللغة، وهي إنما قدّت من أفكار مسبقة، وليس لها أن تكون على غير ذلك، إلا أنها أفكار مسبقة لاشعورية، فهي أخطر بكثير من بقية الأفكار.

فهل معنى ذلك أن إقحام أفكار أخرى نعيها تمام الوعي لن يزيد الوضع إلا سوءاً؟ لا أظن ذلك، بل أذهب إلى أنها ستقوم في ما بينها وبين الأفكار اللاشعورية بدور الثقل الموازن أو قل الترياق. فهي ستتلاءم ـ على وجه العموم ـ تلاؤماً سيئاً معها بل إن الأفكار الشعورية والأفكار اللاشعورية ستتصارع، فتكرهنا على أن ننظر إلى الأشياء من زوايا مختلفة وفي ذلك ما يكفي لنتحرر. فليس عبداً من استطاع اختيار سيده.

وهكذا تجعلنا كل واقعة نلاحظها نتوقع بفضل التعميم حدوث وقائع أخرى كثيرة، غير أنه علينا أن لا ننسى أن الواقعة
[١٦٠] الأولى هي وحدها الواقعة اليقينية، أما البقية فلا يمكن أن تكون إلاّ وقائع محتملة. ولذا فمهما بدا لنا توّقعٌ ما متين الأسس، فلن نكون أبداً على يقين **مطلق** من أن التجربة لن تفنده، إذا ما بادرنا إلى التحقق منه. ولكن ذلك الاحتمال يكون عادة على درجة عالية من القوة، بحيث نستطيع عملياً الاكتفاء به. وخير لنا أن نتوقع من دون يقين من أن لا نتوقع أبداً.

وجب إذاً أن لا نزدري البتة القيام بالتحقق التجريبي كلما أتيحت لنا الفرصة. غير أن كل تجربة طويلة وشاقة، والعاملون قلة ثم إن عدد الوقائع التي نحتاج إلى توقعها لا يحصى حتى أن عدد التحقيقات المباشرة التي نستطيع القيام بها سيكون لا شيء بالمقارنة أمامه.

لذلك وجبت الاستفادة القصوى من هذا القليل الذي أمكننا

أن نبلغه مباشرة، وكان على كل تجربة أن تمكن لنا من أقصى عدد ممكن من التوقعات، وبأعلى درجة ممكنة من الاحتمال، فالمسألة تتعلق، إن صحّ التعبير، بالرفع من إنتاجية الآلة العلمية.

وليسمح لي بأن أشبه العلم بمكتبة يفترض أن ينمو رصيدها باستمرار، إلاّ أن ما بين يدي صاحبها من اعتمادات مالية مخصصة للاقتناء لا يكفي، فكان عليه أن لا يسيء التصرف بها.

فالفيزياء التجريبية هي المؤتمنة على الاقتناءات، فهي وحدها بالتالي قادرة على إثراء المكتبة.

أما الفيزياء الرياضية فمهمتها أن تعد الفهرس. وجودة الفهرس لن تزيد المكتبة ثراء، ولكنها تعين القارئ على الاستفادة من الرصيد المتاح.

بل من شأن الفهرس أن يعين أمين المكتبة ـ بالكشف له عن ثغرات مجموعاته ـ على استخدام الاعتماد المالي الاستخدام الذكي. فعلى قدر تواضع الاعتمادات تكون الحاجة إليه أهم.

ذلك هو إذًا دور الفيزياء الرياضية. فالواجب فيها أن توجه [١٦١]
التعميم توجيهاً يثرى به ما سميته منذ حين إنتاجية العلم. أما بأية وسائل تبلغ ذلك وكيف لها أن تبلغه دونما خطر، فذلك ما بقي علينا أن ننظر فيه.

وحدة الطبيعة ـ لنلاحظ ـ بادئ ذي بدء ـ أن كل تعميم يفترض إلى حدّ ما الاعتقاد بوحدة الطبيعة وبساطتها. فأما الوحدة فلا إشكال فيها، إذ لو لم تكن مختلف أجزاء الكون مثل أعضاء الجسد الواحد، لما كان لبعضها أن يفعل في البعض الآخر، وما كان لصلة ما أن تقوم بينها، وأما نحن بالأخص فلن نعرف منها إلا جزءاً واحداً، ولذلك لم يكن علينا أن نتساءل عما إذا كانت الطبيعة واحدة بل عن الكيفية التي هي بها واحدة.

أما في ما يتعلق بالمسألة الثانية فالأمر ليس على ذلك اليسر لأنه من غير المتأكد أن الطبيعة بسيطة. فهل لنا ـ من دون تعرض للخطر ـ أن نتصرف وكأنما هي بسيطة؟

لقد ولى الزمن الذي كانت فيه بساطة قانون ماريوت(Mariotte) حجة تشهد لصحته وكان فيه فرزنيل (Fresnel) نفسه يظن أنه ملزم بتقديم بعض التفاسير لتحاشي صدم الرأي السائد، وذلك بعد أن قال في حوار مع لابلاس (Laplace) إن الطبيعة لا تعبأ بمصاعب الحساب التحليلي.

أما اليوم فقد تغيرت الرؤى. ومع ذلك فإن الذين لا يعتقدون بأن اللازم في القوانين الطبيعية أن تكون بسيطة يجدون أنفسهم مكرهين في كثير من الأحيان على أن يتصرفوا وكأنما هم يسلّمون بذلك، حيث لا يمكنهم التخلص كلياً من تلك الضرورة من دون أن يصيّروا كل تعميم وبالتالي كل علم محالاً.

فمن الجليّ أن واقعةً ما يمكن تعميمها بطرق شتى، وأنه علينا أن نختار، وهو اختيار لا نستأنس فيه إلا باعتبارات تتصل بالبساطة. لنأخذ أبسط الحالات أي الاستكمال، حيث نرسم بين النقاط التي توفرها التجربة خطاً متواصلاً، منتظماً ما أمكن الانتظام.
[١٦٢] فلماذا نتفادى النقاط الناشرة والانحناءات المفاجئة جداً؟ ولماذا لا نجعل المنحني يرسم أشد الالتواءات تقلباً؟ ذلك لأننا نعلم سلفاً أو قل لأننا نظن أننا نعلم سلفاً أنّ القانون المطلوبة صياغته، ليس له أن يكون على تلك الدرجة من التعقيد.

يمكننا أن نستنتج كتلة المشتري إما استناداً إلى حركة كواكبه، وإما استناداً إلى اضطرابات الكواكب العظمى أو اضطرابات الكواكب الصغرى. فإذا ما أخذنا معدّل التحديدات التي نتحصل عليها بهذه الطرق الثلاث كانت لنا ثلاثة أعداد متقاربة جداً ولكنها مختلفة. ويحق لنا تأويل تلك النتيجة بافتراض أن معامل الجاذبية

ليس واحداً في الحالات الثلاث. والأكيد أن هذا التأويل يولي الملاحظات أهمية كبرى. فلماذا نرفضه؟ لا نرفضه لأنه يشكل خلفاً، بل لتعقده تعقيداً لا لزوم له. ونحن لن نقبله الا يوم يفرض نفسه علينا، وهو ما لم يحدث بعد.

وباختصار، إن كل قانون يعتبر بسيطاً حتى يأتي ما يخالف ذلك.

تلك عادة فرضت نفسها على الفيزيائيين للأسباب التي كنت أشرحها. ولكن كيف لنا أن نبررها حيال اكتشافات تبيّن لنا كل يوم تفاصيل أثرى وأعقد؟ بل كيف لنا حتى أن نوفق بينها وبين الإحساس بوحدة الطبيعة؟ فإذا ما ترابطت جميع الأشياء، فلا سبيل إلى أن تكون العلاقات بسيطة، وقد لا يكون لعلاقات يتدخل فيها هذا الكم الهائل من الموضوعات أن تكون بسيطة.

وإذا ما درسنا تاريخ العلوم وقفنا على ظاهرتين متعاكستين تقريباً. فتارة تتخفى البساطة تحت مظاهر معقدة وتارة تتجلى البساطة ظاهرياً، وتتخفى خلفها وقائع غاية في التعقيد.

وهل أعقد من الحركات المضطربة لدى الكواكب؟ وهل أبسط من قانون نيوتن (Newton)؟ هاهنا لا تلجأ الطبيعة ـ في غير التفات إلى مصاعب التحليل كما كان يقول فرزنيل (Fresnel) ـ إلا إلى وسائل بسيطة تؤلف بينها، فتتشكل ما لست أدري من ضروب [١٦٣]
الحبك التي لا فكاك لها. تلك هي البساطة المتخفية، وهي التي يجب أن نكتشفها.

وكثيرة هي الأمثلة المضادة. فنحن نعتبر ـ في النظرية الحركية للغازات ـ أن جزيئاتٍ تتحرك بسرعات هائلة، وأن مساراتها المتبدلة بفعل اصطدامات لا تنتهي هي مسارات ذات أشكال أشد ما تكون تقلباً، وأنها تذرع المكان في كل الاتجاهات ولكن النتيجة التي يمكننا معاينتها هي قانون ماريوت (Mariotte) البسيط. فقد كانت

كل واقعة بمفردها واقعة معقدة، فأعاد قانون الأعداد الكبرى البساطة إلى المعدّل. فالبساطة هاهنا ليست إلا بساطة ظاهرية ولا يمنع عنا إدراك ما فيها من التعقيد إلا خشونة حواسنا.

وثمة ظواهر كثيرة تخضع لقانون التناسب. فلم كان ذلك كذلك؟ لأنه يوجد في تلك الظواهر شيء ما، على غاية من الضآلة. وعندها لا يكون القانون البسيط الذي التزمناه إلا تعبيراً عن هذه القاعدة التحليلية القاضية بأن التزايد اللامتناهي الصغر لدالة ما، يتناسب مع تزايد المتغيرة. ولما لم تكن الازديادات في الحقيقة لامتناهية الصغر بل صغيرة جداً، لم يكن قانون التناسب إلا قانوناً تقريبياً، ولم تكن البساطة إلا ظاهرية. وينطبق ما كنت أقول على تراكب الحركات الصغرى، وهو خصب الاستعمال وأساس البصريات.

وماذا عن قانون نيوتن ذاته؟ فقد لا تكون بساطته التي تخفّت طويلاً إلا بساطة ظاهرية، ومن أدرانا أنها ليست لازمة عن ضرب من الآلية المعقدة، مثل اصطدام ضرب من المادة اللطيفة المتحركة على غير انتظام، وأن ذلك القانون لم يصبح بسيطاً إلا باستخدام المعدّلات والأعداد الكبرى؟ ومهما يكن من أمر، فمن الصعب ألا نفترض أن القانون الحقيقي يحتوي على حدود تكميلية قد تصبح محسوسة في المسافات الصغرى. وإذا كان لنا في علم الفلك أن نهمل تلك الحدود فلضآلتها بالمقارنة مع العنصر الذي يفترضه نيوتن (Newton). وإذا ما استرد القانون ـ على هذا النحو ـ بساطته، فإنما السبب في ذلك، اتساع المسافات السّماويّة لا غير.

[١٦٤] والأقرب إلى الحقيقة أنه لو أصبحت وسائل البحث عندنا أكثر نفاذاً، لاكتشفنا البسيط طيّ المعقد، ثم المعقد طيّ البسيط. وهكذا دواليك من دون أن نستطيع توقع لأي الحدين ستكون الغلبة في الأخير.

ولا بد لنا من أن نتوقف عند موضع ما فوجب التوقف ـ ليكون العلم ممكناً ـ عند العثور على البسيط، فهو المجال الوحيد الذي يمكننا أن نشيد عليه صرح تعميماتنا. ولمّا لم تكن تلك البساطة إلا ظاهرية، فهل لذلك المجال أن يكون متيناً؟ ذلك ما يجدر بنا أن ننظر فيه.

ويوجب علينا بلوغ ذلك، أن نتساءل عن الدور الذي يقوم به معتقد البساطة في تعميماتنا. فلقد تحققنا من صحة قانون بسيط في عدد لا بأس به من الحالات الجزئية. ثم إننا أبينا على أنفسنا التسليم بأن ذلك الالتقاء المكرور في الكثير من الحالات، هو مجرد أثر من آثار الصدفة، واستنتجنا من ثمّة أن الواجب في ذلك القانون أن يكون صحيحاً بالنسبة إلى الحالة العامة.

لاحظ كبلر (Kepler) أن مواقع كوكب ما رصده تيكو (Tycho) توجد جميعها على إهليلج فلم يدُر بخلده لحظة أن تيكو لم ينظر قط ـ بضرب من الصدف الغريبة ـ إلى السماء إلا عندما اتفق أن تقاطع المسار الحقيقي لذلك الكوكب مع ذلك الإهليلج.

ولو كان الأمر كذلك، فما أهمية أن تكون البساطة فعلية أو قناعاً لحقيقة معقدة؟ وسواء عزوناها لتأثير الأعداد الكبرى الذي من شأنه أن يسوّي بين الفوارق الفردية، أم عزوناها لضخامة بعض الكميات أو لصغرها، وهو ما من شأنه أن يسمح بإهمال بعض الحدود، فإنها لا تنشأ ـ في كل تلك الحالات ـ عن محض الصدفة، بل تصدر دائماً عن علة ما، بصرف النظر عما إذا كانت بساطة حقيقية أو ظاهرية. وبالتالي سيكون بمستطاعنا دائماً أن نستدل بطريقة واحدة. وإذا ما وقع التأكد من صحة قانون بسيط في الكثير من الحالات الجزئية، كان من حقنا أن نفترض أنه سيكون صحيحاً في الحالات المماثلة، ويلزم عن عدم التسليم بذلك أن نضفي على الصدفة دوراً لا يمكن قبوله.

[١٦٥] غير أن هاهنا فرقاً. فإذا كانت البساطة حقيقية وعميقة، فإنها ستمتنع عمّا في وسائل القيس عندنا من دقة متزايدة، وبالتالي فإذا ما اعتقدنا أن الطبيعة في بعدها العميق بسيطة كان علينا أن نطلب تلك البساطة الدقيقة بالاستناد إلى البساطة التقريبية.

ذلك ما كنا نفعله بالأمس ولم يعد لنا حق فيه اليوم.

فبساطة قوانين كبلر (Kepler) مثلاً ليست إلا بساطة ظاهرية، من دون أن يمنع ذلك تطبيقها على جميع الأنظمة الشبيهة بالنظام الشمسي، لكنه يحول دون أن تكون على دقة صارمة.

دور الفرضية ـ كل فرضية تعميم. وبالتالي كانت الفرضية تؤدي ضرورة دوراً لم ينكره أحد، غير أنه ينبغي دائماً إخضاعها للتحقق في أسرع وقت ممكن وكلما أمكن ذلك. وغني عن البيان أنها إذا لم تصمد لذلك الاختبار وجب التخلي عنها عن طيب خاطر. وهو ما نقوم به عامة بالفعل ولو بشيء من الامتعاض أحياناً.

بيد أنه ليس ثمّة ما يبرّر ذلك الامتعاض ذاته، بل ينبغي للفيزيائي الذي تخلّى عن إحدى فرضياته أن يستبشر بذلك خيراً، لأنه عندئذ يكون قد صادف مناسبة غير منتظرة لاكتشاف ما لم يعلم. فأنا أتخيل أنه لم يتبنّ فرضيته تلك عن غير روية، بل لأنها كانت تأخذ في الاعتبار جميع العوامل المعروفة التي تبدو أنها تؤثر في الظاهرة وإذا لم يتم التحقق منها فبسبب وجود شيء ما غير متوقع أو خارق للعادة، وفي ذلك ما يشير إلى أننا سنعثر على ما لم نعرف وما لم نألف.

وبهذا التقدير، هل كانت الفرضية التي فندناها بها فرضية عقيمة؟ إنها أبعد ما تكون عن العقم! ولنا أن نزعم أنها أسدت من الخدمات أكثر مما أسدت فرضية صحيحة، فهي لم تشكل مناسبة لإجراء تجربة حاسمة فحسب، بل كان من الجائز أيضاً أن

نقوم بتلك التجربة صدفة ومن دون وضع تلك الفرضية، فلا نستنتج منها شيئاً، ولا نرى فيها ما يخرج عن العادة، فإذاً نحن لم نذهب إلى أبعد من تسجيل واقعة أخرى، من دون استنتاج أدنى شيء منها.

[١٦٦] ونتساءل الآن عن الشرط الذي في إطاره لا يكون في استعمال الفرضية خطر.

فالدعوة الملحة إلى إخضاعها للتجربة لا تكفي، لأنه ثمّة دائماً فرضيات خطيرة وهي الفرضيات الضمنية واللاشعورية قبل سواها. ولما كنا نستعملها من دون علم ما، كنا عاجزين عن التخلي عنها. وتلك خدمة أخرى يمكن أن تسديها لنا الفيزياء الرياضية إذ تلزمنا ـ بفضل ما تنطوي عليه من دقة ذاتية ـ بصياغة جميع الفرضيات التي قد نضعها في غياب تلك الفيزياء، من دون وعي منا.

ولنلاحظ ـ من ناحية أخرى ـ أنه من المهم جداً ألا نفرط في عدد الفرضيات أكثر مما يحتاج إليه، فلا نطرحها إلا الواحدة بعد الأخرى. فإذا ما أنشأنا نظرية أسسناها على فرضيات متعددة وكذبتها التجربة، فكيف سنتعرف على المقدمة التي ينبغي تغييرها من بين مقدماتنا؟ من المحال معرفة ذلك. وبالعكس إذا ما نجحت التجربة فهل سنذهب إلى أننا تحققنا في آن واحد من صحة جميع تلك الفرضيات؟ هل نذهب إلى أننا حددنا مجاهيل كثيرة بواسطة معادلة واحدة؟

ويقضي الواجب كذلك بأن نهتمّ بالتفريق بين مختلف أنواع الفرضيات. فمنها ما هو ـ بادئ الأمر ـ طبيعي جدّاً لا مناص لنا منه إذ يستعصي علينا أن لا نفترض أن تأثير الأجسام البعيدة غاية البعد هو تأثير يمكن إهماله، أو أن لا نفترض أن الحركات الصغرى تجري وفقاً لقانون خطي، وأن الأثر دالة متصلة لعلته. ويقال الشيء نفسه في التناظر. وتشكل كل هذه الفرضيات ما يمكن

أن يسمّى بالمعين المشترك بين جميع نظريات الفيزياء الرياضية، وهي آخر ما يجب التخلي عنه من الفرضيات.

وثمة نوع ثان منها سأسميه بالفرضيات المحايدة. ففي جل المسائل، يفترض المحلل في بداية الحساب الذي يجريه، إما أن المادة متصلة وإما أنها ـ على العكس من ذلك ـ مكونة من ذرات،
[١٦٧] ونتائجه لا تتغير لو أنه فعل العكس، بل كل ما هنالك أنه قد يجد صعوبة أشدّ في الحصول عليها. فهل له أن يذهب ـ إذا ما أكدت التجربة نتائجه ـ إلى أنه برهن مثلاً على وجود الذرات وجوداً حقيقياً؟

وفي النظريات البصرية يتدخل متّجهان، يعتبر أحدهما بمثابة السرعة والآخر بمثابة الإعصار، وتلك فرضية محايدة هي الأخرى، إذ إننا نصل إلى النتائج نفسها باستخدام العكس تماماً. وبالتالي لم يكن لنجاح التجربة أن يثبت أن المتجه الأول هو السرعة بل إنما يثبت شيئاً واحداً وهو أنه متّجه. وتلك هي الفرضية الوحيدة التي كنا أقحمناها فعلاً في المقدمات. وقد كان علينا ـ طلباً لهذا المظهر المحسوس الذي اقتضاه ضعف فكرنا ـ إمّا أن نعتبره سرعة وإمّا أن نعتبره إعصاراً، تماماً كما كان علينا أن نرمز إليه إما بالحرف x أو بالحرف y.

ومهما كانت النتيجة، فهي لا تثبت أننا أصبنا أو أخطأنا، عندما اعتبرناه سرعةً، مثلما أنها لا تثبت أننا أصبنا أو أخطأنا عندما سميناه x بدل y.

فتلك الفرضيات المحايدة لا تكون البتة خطرة، ما لم نجهل خاصيتها، بل يمكن أن تكون مجدية سواء بأخذها مأخذ الحيلة الحسابية، أو مأخذ السند الذي يدعم ذهنياً بصور محسوسة تركيزاً للأفكار كما يقال، فليس ثمة بالتالي ما يدعو إلى إبطالها.

أما الفرضيات من النوع الثالث، فهي التي تشكّل التعميمات

الحقيقية، وهي التي على التجربة أن تؤكدها أو أن تفندها، وهي خصبة سواء صدقت أم كذبت، ولكنها لا تكون كذلك إلا إذا لم نكثر منها للأسباب التي سبق أن تحدثت فيها.

مصدر الفيزياء الرياضية ـ لنتوغل أكثر في المسألة ولننظر عن كثب في الشروط التي أتاحت تبلور الفيزياء الرياضية، فسنتعرف من الوهلة الأولى على أن جهود العلماء إنما سعت إلى رد الظاهرة المعقدة التي تقدمها التجربة مباشرة إلى عدد كبير جدّاً من [١٦٨]
الظواهر الأوّلية.

وقد انتهجت إلى ذلك ثلاثة أساليب مختلفة، أولها الأسلوب الزماني. فبدل أن نلم بالتطور المتنامي لظاهرة ما في شموليته، نكتفي بمحاولة ربط كل آن بالآن الذي سبقه مباشرة، ونسلم بأن حالة الكون الراهنة لا ترتبط إلاّ بماضيه الأقرب، من دون أن تؤثر فيها تأثيراً مباشراً ذكرى ماض بعيد إن صحّ القول. ويمكننا بفضل هذه المصادرة الاقتصار على كتابة "المعادلة التفاضلية" لتلك الحالة، بدل أن ندرس مباشرة تعاقب الظواهر كلّه. وهكذا نستبدل قوانين كبلر(Kepler) بقانون نيوتن (Newton).

ويتمثل ثاني تلك الأساليب في محاولة تحليل الظاهرة مكانياً، فما تقدمه لنا التجربة إنما هو مجموعة مبهمة من الوقائع التي تحدث على مسرح ذي اتساع ما. والمطلوب أن نسعى إلى تحديد الظاهرة الأوّلية التي ستكون ـ على عكس ما كانت عليه في الأسلوب الأول ـ متحيّزة في جهة من المكان صغيرة جداً.

وهذه بعض الأمثلة التي قد تعين على فهم ما أذهب إليه. فإذا ما أردنا دراسة توزع الحرارة في جسم صلب وهو بصدد التبرّد، فلن نستطيع إلى ذلك سبيلاً، بينما تصبح المسألة يسيرة إذا ما انتبهنا إلى أن نقطة صلبة ما، لا يمكنها أن تمرر حرارتها لنقطة بعيدة عنها، بل إنها لا تمررها مباشرة إلا للنقاط المجاورة لها.

وهكذا يمكن لتيار الحرارة أن يبلغ أجزاء أخرى من الجسم الصلب يسيراً يسيراً. فالظاهرة الأوّلية تتمثل في تبادل الحرارة بين نقطتين متجاورتين. ويَكون ذلك التبادل متحيّزاً تحيّزاً دقيقاً، وهو نسبياً بسيط، إذا ما سلمنا ـ كما هو طبيعي ـ بأنّه لا يتأثر بحرارة الجزيئات الواقعة على مسافةٍ محسوسة منه.

وإذا ما لويت قضيباً، اتخذ شكلاً غاية في التعقيد تصبح معه دراسته المباشرة مستحيلة. وعلى الرغم من ذلك، فإني أستطيع دراسته إذا ما انتبهت إلى أن التواءه ليس إلا محصلة تشوه عناصر
جد صغيرة فيه، وأن تشوه كل عنصر لا يرتبط إلا بقوى تسلّط [١٦٩]
عليه مباشرة، من دون أن يرتبط البتة بالقوة التي يمكن أن تسلّط على العناصر الأخرى.

ونحن نسلّم في جميع هذه الأمثلة التي يمكنني أن أكثر منها من دون عناء، بأنه لا وجود لفعل عن بعد أو قل عن بعد كبير على كل حال. تلك هي الفرضية وهي ليست دائماً صحيحة وقانون الجاذبية شاهد على ذلك، لذلك وجب إخضاعها للتحقيق التجريبي، فإن تأكدت ولو على نحو تقريبي كانت ذات قيمة لأنها ستسمح لنا بإنشاء الفيزياء الرياضية، على الأقل بطريقة المقاربات المتتالية.

وإذا لم تصمد تلك الفرضية للامتحان وجب البحث عن شيء شبيه بها، حيث لا نعدم البتة وسائل أخرى للوصول إلى الظواهر الأوليّة. فإذا ما تفاعلت عدة أجسام في وقت واحد، أمكن أن تكون أفعالها مستقلة وأن تنضاف بعضها إلى البعض الآخر لا غير، إما كما تنضاف الموجهات، وإمّا كما تنضاف الكميات السُلْمية، وعندها تكون الظاهرة الأولية متمثلة في فعل جسم معزول. ويمكن أن يتعلق الأمر كذلك بحركات صغيرة تخضع لقانون التراكب المشهور، وعندها نقسم الحركة التي نلاحظها إلى حركات بسيطة

كما ينقسم الصوت إلى توافقيات، والضوء الأبيض إلى مركبات وحيدة اللون.

فبأية وسائل يتاح لنا بلوغ الظواهر الأوّلية إذا ما تم لنا تبيّن الاتجاه الذي يجدر بنا البحث فيه عنها؟

يمكن ـ بادي ذي بدء ـ أن لا يتطلب في أغلب الأحيان تحسس ذلك أو بالأحرى تحسس ما هو مجد لنا أن نكشف عن آليته. إذ إن قانون الأعداد الكبرى يكون كافياً في هذا الموضع. لنعد إلى مثال انتشار الحرارة حيث تشع كل جُزيئة في اتجاه كل جُزيئة مجاورة لها، ولا نحتاج إلى معرفة القانون الذي يتم على مقتضاه ذلك. وإذا ما وضعنا فرضية في هذا الشأن، فستكون من نوع الفرضيات المحايدة. فهي بالتالي غير مجدية ولا تقبل التحقق
وبالفعل فإن جميع الفروقات تتوازن بفعل المعدلات وبفضل تناظر [١٧٠]
المكان، فتبقى النتيجة واحدة مهما كانت الفرضية المقترحة.

ونحن نجد الظرف نفسه في نظرية المرونة وفي نظرية الشعرية حيث تتجاذب الجزيئات المتجاورة وتتدافع من دون أن يحتاج فيها إلى معرفة القانون الذي يتم بمقتضاه ذلك. فيكفينا ألاّ تؤثر في ذلك التجاذب إلاّ المسافات القريبة، وأن تكون الجزيئات كثيرة العدد، وأن يكون الوسط متناظراً، لنترك قانون الأعداد الكبرى يفعل فعله.

وهاهنا أيضاً تختفي بساطة الظاهرة الأوّلية خلف الظاهرة المحصّلة التي يمكن معاينتها. على أن تلك البساطة ليست ـ هي بدورها ـ إلا ظاهرية إذ هي تخفي آلية شديدة التعقيد.

وقد تكون التجربة ـ بداهة ـ أَقْوَم وسيلة لبلوغ الظاهرة الأوّلية. فلا بدّ من تفكيك الحزمة المعقدة التي تطرحها أمامنا الطبيعة للبحث، وذلك بتوسّط حيل تجريبية، ثمّ لا بدّ من درس تلك العناصر بعناية فائقة بعد تجريدها ما أمكن التجريد. فنقوم ـ

على سبيل المثال ـ بتفريع الضوء الأبيض الطبيعي إلى أضواء أحادية اللون باستخدام الموشور، وإلى أضواء مقطّبة باستخدام المقطاب.

وما يؤسف له أن ذلك ليس ممّا يتاح دائماً، ولا هو بكاف بل ينبغي أحياناً أن نستبق التجربة. ولن أضرب لذلك إلا مثالاً واحداً، ما فتئ يسترعي اهتمامي.

فإذا ما قمت بتحليل الضوء الأبيض، أمكنني أن أعزل جزءاً صغيراً من الطَيف. إلاّ أن هذا الجزء سيحتفظ ـ مهما كان صغيراً ـ بضرب من العرض كما أن الأضواء الطبيعية المسماة وحيدة اللون تعطينا هي أيضاً، حزّاً دقيقاً جداً ولكنه ليس مع ذلك بالحزّ اللامتناهي الدقة. ويمكننا درس خاصيات تلك الأضواء الطبيعية تجريبياً بالاشتغال على حزوز طيفية متزايدة الدقة. ويمكننا ـ بضرب من الانتقال إلى الحد كما يقال ـ افتراض أننا سوف نبلغ معرفة خاصيات الضوء أحادي اللون فعلاً.

[١٧١] لكن ذلك غير دقيق. سأفترض شعاعين يخرجان من مصدر واحد، نستقطبهما أولاً على المستويين المستطيلين، ونرجعهما بعد ذلك إلى مستوى الاستقطاب ذاته، ثمّ نحاول حملهما على التداخل. فإذا ما كان الضوء أحادي اللون حقاً تداخلا. إلا أنّ التداخل لن يحدث بواسطة ما لدينا من أضواء هي وحيدة اللون على جهة التقريب وذلك مهما كان الحزّ ضيّقاً. وليكون الأمر على غير ذلك النحو، وجب أن يكون الحزّ أضيق بملايين المرات من أضيق حزّ معروف لدينا.

ففي هذه المسألة كان يمكن لعملية الانتقال إلى الحد، أن توقعنا في الخطأ فكان على الفكر أن يستبق التجربة. ولئن هو نجح في ذلك فلأنه انقاد لهدي حدس البساطة.

وتسمح لنا معرفة الواقعة الجزئية بصياغة المشكل في معادلة. وعندئذ لن يبقى علينا إلاّ أن نستنبط منها ـ توفيقياً ـ الواقعة المركبة

القابلة للملاحظة والتحقق وذلك ما نسميه **بالتكامل** الذي هو من اختصاص الرياضي.

ولنا أن نتساءل: لم يأخذ التعميم في العلوم الفيزيائية الشكل الرياضي طوعاً؟ ومن اليسير الآن أن ندرك سبب ذلك، وهو سبب لا يعزى فحسب إلى ضرورة صياغة قوانين عددية، وإنما كذلك إلى أن الأصل في الظاهرة القابلة للملاحظة، هو تراكم عدد كبير من **الظواهر الأوّلية المتشابهة جميعها**. وهكذا تتدخل المعادلات التفاضلية تدخلاً طبيعياً.

فليس يكفي أن تخضع كل ظاهرة أوّلية لقانون بسيط، بل يجب أن تخضع جميع الظواهر التي نوفق بينها لقانون واحد، وعندها فقط يمكن أن يكون تدخل الرياضي مجدياً، ذلك أن الرياضيات إنما تعلمنا كيف نوفق بين أشياء متشابهة وهدفها إنما هو تحسس نتائج توافق ما، من دون أن تكون في حاجة إلى إعادة ذلك التوافق عنصراً بعد عنصر. وإذا كان علينا تكرار عملية واحدة مراراً عديدة، فان الرياضيات تتيح لنا تجنب ذلك التكرار إذ تطلعنا مسبقاً على النتيجة بضرب من ضروب الاستقراء، وهو ما سبق أن [١٧٢]
شرحته في الجزء الخاص بالاستدلال الرياضي.

وليتسنى لنا ذلك، وجب أن تكون جميع تلك العمليات متشابهة، أما إذا جرى الأمر على عكس ذلك فالواجب بداهة أن لا نكابر في إجرائها الواحدة تلو الأخرى، وعندها تصبح الرياضيات مما لا يحتاج إليه.

ولأمر كهذا كان الفضل في نشأة الفيزياء الرياضية لتجانس المادة التي يدرسها الفيزيائي تجانساً تقريبياً.

ولم يَعد يطالعنا في العلوم الطبيعية شرط التجانس وشرط استقلال الأجزاء البعيدة استقلالاً نسبياً، وشرط بساطة الواقعة الأوّلية. ولذلك كان الطبيعيون ملزمين بالالتجاء إلى أنماط أخرى من التعميم.

الفصل العاشر

نظريات الفيزياء الحديثة

معنى النظريات الفيزيائية ـ يعجب عامة الناس لسرعة تهاوي النظريات العلمية إذ يرونها تُهجر الواحدة تلو الأخرى بعد بضع سنوات من الازدهار ويلمسون أن الحطام يتكدس على الحطام، فإذا هم يتوجسون أن النظريات القائمة اليوم ستتهاوى لا محالة بدورها في أجل قريب ويخلصون إلى أن النظريات لا خير فيها أصلاً. وذلك هو ما يسمى عندهم بتهافت العلم. [١٧٣]

إن ريبيتهم سطحية وهم لا يفقهون شيئاً لا من غاية العلم ولا من دور النظريات العلمية. ولولا سطحيتهم تلك، لأدركوا أن في ذلك الحطام ما سيبقى صالحاً لأمر ما.

فما من نظرية كانت تبدو أوثق من نظرية فرزنيل (Fresnel) التي عزت الضوء إلى حركات الأثير، ومع ذلك فإننا نفضل عليها اليوم نظرية ماكسويل (Maxwell). فهل معنى ذلك أن نظرية فرزنيل (Fresnel) كانت لا خير فيها؟ كلا! ذلك أن غاية فرزنيل (Fresnel) لم تكن معرفة ما إذا كان ثمة أثير بالفعل، ولا ما إذا كان هذا الأثير يتكون من ذرات، أو أنه لم يكن كذلك، ولا ما إذا كانت تلك الذرات تتحرك بالحقيقة في هذا الاتجاه أو ذاك، بل كانت غايته توقع الظواهر البصرية.

وهو ما لم تزل ـ في حقيقة الأمر ـ تسمح به نظرية فرزنيل اليوم على غرار ما كانت تسمح به قبل ظهور ماكسويل (Maxwell)، * ولم تزل المعادلات التفاضلية صحيحة، ولم يزل بوسعنا أن نقوم بتكميلها بالأساليب نفسها، ولم تزل نتائج ذلك التكميل محتفظة بكل قيمتها.

[١٧٤] ورجاؤنا أن لا يقال لنا إننا نقصر ـ على ذلك النحو ـ النظريات الفيزيائية على أن تلعب دور الوصفة العملية، ذلك أن تلك المعادلات تعبّر عن نسب، ولئن ظلت المعادلات صحيحة فلأن تلك النسب احتفظت بحقيقتها، فهي ترشدنا ـ ماضياً وحاضراً ـ إلى وجود نسبة بين شيء ما وشيء ما آخر، وكل ما هنالك أننا كنا في ما مضى نسمي ذلك الشيء حركة فأصبحنا اليوم نسميه تياراً كهربائياً، ولكن تلك التّسميات ليست إلا صوراً جعلناها بدائل من الموضوعات الحقيقية التي حجبتها الطبيعة عنا إلى الأبد. والنسب الفعلية القائمة بين تلك الموضوعات الحقيقية إنما هي الواقع الوحيد الذي يمكننا بلوغه، والشرط الوحيد لذلك أن توجد بين تلك الأشياء النسب نفسها التي توجد بين الصور التي أكرهنا على أن نضعها مكانها. وإذا ما عرفنا تلك النسب فلا ضرر في أن نجد أنه من الملائم استبدال صورة بأخرى.

فأن تعزى بالفعل ظاهرة ما (ذبذبة كهربائية مثلاً) إلى اهتزاز ذرة ما، تسلك مسلك رقاص الساعة، فتنتقل فعلاً في هذا الاتجاه أو ذاك، فهو مما لا يقين فيه ولا جدوى منه. أما أن توجد بين الذبذبة الكهربائية وبين حركة رقاص الساعة وجميع الظواهر الدورية، قرابة حميمة تتطابق مع واقع عميق، وأن تمتد تلك القرابة وذلك التشابه أو قل بالأحرى ذلك التوازي حتى يمس التفاصيل، وأن تكون تلك القرابة ناتجة من مبادئ أعم مثل مبدأ بقاء الطاقة أو مبدأ الفعل الأدنى، فذلك مما نستطيع تأكيده، وتلك هي الحقيقة التي ستبقى هي هي على الدوام تحت كل رداء نرى من الصالح أن نلبسها إياه.

لقد اقتُرِحت العديد من النظريات في التشتت الضوئي كانت أولاها غير مكتملة حيث لم تحتو إلا على جزء يسير من الحقيقة، وجاءت نظرية هلمهولتز (Helmholtz) ثم حُوّرت بصيغ مختلفة، وتخيل صاحبها نفسه نظرية أخرى قائمة على مبادئ ماكسويل (Maxwell). إلا أن اللافت للانتباه، أن جميع العلماء الذين جاؤوا بعد هلمهولتز(Helmholtz) انتهوا ـ استناداً إلى منطلقات متباعدة غاية [١٧٥] التباعد في ظاهر أمرها ـ إلى المعادلات نفسها التي انتهى إليها هو. وإني لأجرؤ على القول إنّ جميع تلك النظريات صحيحة معاً، لا لأنها تجعلنا نتوقع ظواهر واحدة فحسب، بل لأنها تكشف أيضاً عن نسبة صحيحة هي النسبة بين الامتصاص والتشتت اللاسويّ. فما هو صحيح في مقدمات هذه النظريات، إنما هو ما اشترك فيه جميع المنظرين وهو تأكيد هذه النسبة أو تلك بين أشياء يطلق عليها هؤلاء اسماً، ويطلق عليها أولئك اسماً آخر.

ولاقت النظرية الحركية في الغازات اعتراضات شتى، كان يعسر الرد عليها لو ادعينا أنها الحقيقة المطلقة. غير أن جميع تلك الاعتراضات لا تجحد أنها كانت نظرية مفيدة، ولا سيما عندما كشفت لنا أن نسبة صحيحة كانت لولاها ستبقى عميقة الخفاء، وهي النسبة القائمة بين الضغط الغازي والضغط التنافذي، وهو المعنى الذي تقال عليه صحتها.

وعندما يقف الفيزيائي على تناقض بين نظريتين تستويان عنده قيمة، سيقول أحياناً: علينا أن لا ننزعج من ذلك، ولنمسك بقوة بطرفي السلسلة على الرغم من تخفي الحلقات الوسيطة عن أنظارنا. وستكون هذه الحجة الجديرة باللاهوتي الحائر، حجة سخيفة لو كان علينا أن نضفي على النظريات الفيزيائية المعنى الذي يضفيه عليها عامة الناس، فإذا ما وُجد تناقض بين نظريتين كان من الضروري اعتبار إحداهما ـ على الأقل ـ خاطئة. ولن يكون الأمر كذلك إذا لم نلتمس في النظريات إلا ما علينا التماسه فيها. من

المحتمل أن تعبّر هذه وتلك عن نسب صحيحة، وأن لا يكون ثمة تناقض، إلا بين الصور التي كسونا بها الواقع.

ونجيب أولئك الذين يذهبون إلى أننا ضيقنا غاية التضييق المجال الذي جعلناه في متناول العالم، بأن تلك الأسئلة التي نمنعها عنكم، وتأسفون لها، لا تشكل أسئلة لا حل لها فحسب، بل هي أيضاً أسئلة وهمية لا معنى لها.

[١٧٦] فللفيلسوف أن يزعم أن الفيزياء برمتها تفسر بالتصادم المتبادل بين الذرات. فإن هو أراد أن يقول إنه توجد بين الظواهر الفيزيائية النسب ذاتها التي توجد بين الاصطدامات المتبادلة بين عدد كبير من الكجات، لما كان أحسن مما قال، فذلك أمر قابل للتحقق، ولا يستبعد أن يكون صحيحاً. لكنه يذهب إلى أبعد من ذلك. ولئن نحن ظننا أننا نفهم عنه ما يقول، فلأننا نظن أننا نعرف حقيقة الاصطدام في ذاتها. فلماذا ذهب بنا الظن إلى ذلك؟ لمجرّد أننا شاهدنا مراراً عديدة مباريات في لعبة البليار. فهل نعني بذلك أن الرّبّ ينتابه ـ حين يتأمل خلقه ـ الإحساس ذاته الذي ينتابنا حين نشهد مباراة في لعبة البليار؟ فإن أبينا أن نضفي على مقالة ذلك الفيلسوف هذا المعنى الغريب، ورفضنا كذلك الأخذ بالمعنى المحدود الذي كنت شرحته منذ حين وهو المعنى المستقيم، فلن يكون لمقالته تلك أي معنى.

ليس إذاً لهذا الضرب من الفرضيات إلا معنى مجازي، وليس على العالم أن يمتنع عن استعمالها أكثر مما على الشاعر أن يمتنع عن استعمال المجازات، وإنما عليه أن يدرك قيمتها. فقد تكون صالحة لتلبية حاجة الفكر، وهي لن تضر ما بقيت فرضيات محايدة.

ومن شأن هذه الاعتبارات أن تبيّن لنا سبب انبعاث بعض النظريات فجأة من أنقاضها، لتبدأ حياة جديدة وقد حسبنا أنها هجرت نهائياً، وحكمت التجربة عليها بالاندثار. ويعزى السبب في

ذلك، إلى أنها تعبّر عن نسب صحيحة، وهي لم تفتأ تعبر عنها حتى حين رأينا لسبب ما، أنه علينا أن نصوغ تلك النسب ذاتها في لغة أخرى، فحفظت لنفسها بذلك ضرباً من الحياة الخفية.

هل كان ثمة ـ منذ ما يقارب خمس عشرة سنة ـ أسخف أو أشد سذاجة من سوائل كولومب (Coulomb)؟ وها هي ـ رغم ذلك ـ تعود للظهور من جديد تحت اسم الإلكترونات، ففيم تختلف هذه الجزيئات الدائمة التكهرب عن جزيئات كولومب (Coulomb) المكهربة؟ صحيح أن الكهرباء في الإلكترونات تحملها مادة قليلة غاية القلة، أو قل إنها جزيئات ذات كتلة (ولم نعد نسلم اليوم [١٧٧] حتى بهذا). ولكن كولومب (Coulomb) لم يكن ينفي أن تكون لسوائله كتلة، ولئن فعل فعن مضض. ولعله من التهور تأكيد أنّ القول بالإلكترونات لن يشهد أفولاً، في حين أن ذلك الانبعاث المفاجئ، لم يكن أقل إثارة للفضول.

غير أن المثال الأكثر إثارة هو مبدأ كارنو (Carnot) الذي وضعه انطلاقاً من فرضيات خاطئة. وقد هجرت أفكاره تماماً حين تبيّن أن الحرارة قابلة للتلف، ولكن يمكن أن تتحول إلى شغل. ثم عاد كلوزيوس (Clausius) إلى تلك الفرضيات فكتب لها نصراً نهائياً. فقد كانت نظرية كارنو(Carnot) تعبر في شكلها الأوّلي ـ إلى جانب النسب الحقيقية ـ عن نسب أخرى غير دقيقة، هي من مخلّفات رؤى متآكلة. الاّ أن حضور هذه لم يفسد حقيقة تلك، فلم يكن على كلوزيوس (Clausius) إلا أن يقصي النسب الفاسدة، مثلما تزال الأغصان الميتة، فكانت النتيجة القانون الثاني في الديناميكا الحرارية، وبقيت النسب نفسها، وإن لم تعد قائمة بين الأشياء نفسها. وكان ذلك كافياً ليحتفظ المبدأ بقيمته، بل إن استدلالات كارنو (Carnot) ذاتها لم تتهافت من جراء ذلك. فقد كانت تنطبق على موضوع يشوبه الخطأ، ولكن شكلها (وأعني بذلك الأمر الأساسي فيها) بقي مستقيماً.

وما كنت أقول يبرر في الوقت نفسه دور المبادئ العامة مثل مبدإ الفعل الأدنى أو مبدأ بقاء الطاقة.

فتلك مبادئ ذات قيمة رفيعة جداً، تمّ تحصيلها بالبحث عن العنصر المشترك بين صياغات الكثير من القوانين الفيزيائية، وهي تمثل ما يشبه عصارة ملاحظات لا يحصى عددها.

على أن نتيجة كنت لفتُ النظر إليها في الفصل الثامن تترتب عن عموم تلك المبادئ ذاته، وهي أنّه ليس لها إلاّ أن تتحقق تجريبياً. فلما كنّا لا نستطيع أن نقدم تعريفاً عاماً للطاقة، اقتصر مبدأ بقائها على القول بأن **ثمة شيئاً ما يبقى ثابتاً**. [١٧٨] وبالفعل فإنه مهما كانت المفاهيم الجديدة المتصلة بالعالم، التي ستمدنا بها تجارب الغد، فإننا على يقين سلفاً أنّ ثمة شيئاً ما سيبقى ثابتاً بمستطاعنا أن نسميه **طاقة**.

هل في ذلك ما يفيد بأن لا معنى لهذا المبدأ، وبأنه يؤول إلى تحصيل حاصل؟ قطعاً لا، بل هو يعني أن مختلف الأشياء التي نسميها **طاقة** ترتبط بعلاقة قرابة حقيقيه، إنه يؤكد وجود علاقة فعلية بينها. ولكن إذا كان عندئذ لذلك المبدأ من معنى، فقد يكون معنى خاطئاً، ولربما لن يكون من حقنا التوسع في مدى تطبيقاته إلى ما لا نهاية له، على الرغم من التأكد سلفاً من تحققه بالمعنى الدقيق للكلمة. فكيف لنا أن نعرف أنه بلغ كامل المدى الذي يحق لنا أن نضيفه له؟ إننا نتعرف على ذلك بمجرد أن يصير المبدأ غير مجد، أي بمجرّد أن يتوقف عن تمكيننا من توقع ظواهر جديدة، من دون أن يوقعنا في الخطأ. وسنكون على يقين في هذه الحالة من أن النسبة التي وضعت لم تعد حقيقية، وإلاّ لكان المبدأ خصباً. عندئذ ستبطل التجربة ذلك المبدأ من دون حاجة إلى أن تناقض مباشرة تعميماً إضافياً من تعميماته.

الفيزياء والآلية ـ يؤثر الفيزيائيون دائماً التفاسير المستمدة من

الميكانيكا أو الديناميكا. فمنهم من يشعر ببلوغ الغاية إذا استطاع تفسير جميع الظواهر بتوسط حركات الجزيئات التي تتجاذب وفقاً لبعض القوانين، ومنهم من يكون أكثر تشدداً يريد إلغاء التجاذب عن بعد، فيجعل جزيئاته تتحرك على مسار مستقيم لا تملك أن تحيد عنه إلا بفعل الاصطدامات، ومنهم أيضاً من يلغي القوى كما فعل هيرتز (Hertz) ولكنه يفترض خضوع جزيئاته لروابط هندسية شبيهة مثلاً بما لدينا من كيانات ممفصلة فيطلب بذلك ردّ الديناميكا إلى نوع من السينيماتيكا.

وباختصار فإن الجميع يريدون إخضاع الطبيعة لمفهوم ما، لا يجد الفكر راحته إلا فيه. فهل الطبيعة على درجة من المرونة تهيئها إلى أن تستجيب لذلك؟ [١٧٩]

سننظر في هذه المسألة في الفصل الثاني عشر حين نتحدث عن نظرية ماكسويل (Maxwell). كلما استجيب لشروط مبدأي بقاء الطاقة والفعل الأدنى، لن ندرك أنّ ثمة دائماً تفسيراً ميكانيكياً ممكناً فحسب، بل سندرك كذلك أنه ثمّة تفاسير ميكانيكية لا تحصى عدداً، حيث يمكننا ـ بفضل مبرهنة السيد كونيغس (Königs) الشهيرة المتعلقة بالأنظمة الممفصلة ـ أن نفسر كل شيء بأساليب شتى سواء باستخدام الروابط على طريقة هيرتز (Hertz)، أو باستخدام القوى المركزية، كما لنا أن نبيّن، من دون عناء، ان كل شيء قابل للتفسير بواسطة الاصطدامات وحدها.

ويقتضي بلوغ ذلك ـ طبعاً ـ أن لا نكتفي بالمادة الفجة تلك التي تقع عليها حواسنا، ونعاين مباشرة حركاتها، بل علينا إمّا أن نفترض أن تلك المادة الفجة تتكوّن من ذرات لا نبصر حركاتها الداخلية فلا تقع حواسنا منها إلا على نقلة المجموع، وإمّا أن نتخيل وجود سائل من تلك السوائل التي لعبت منذ القديم ـ باسم الأثير أو أسماء أخرى ـ دوراً على غاية من الأهمية في النظريات الفيزيائية.

ولربّما يُوغل في الأمر أحياناً، فيؤخذ الأثير مأخذ المادة الأولية الوحيدة، أو مأخذ المادة الحقيقية الوحيدة. وأكثر الناس اعتدالاً يعتبرون المادة الفجة أثيراً تكثّف، وليس في ذلك ما يدعو إلى التعجب في حين ينقصه آخرون أهميته، حتى أنهم لا يرون فيه إلا الحيز الهندسي الذي تحتله مفردات الأثير. فما يسمّى مادة عند السيد كالفان (Kelvin) ليس إلا حيز النقاط الذي فيه يتحرك الأثير حركات إعصارية، وهي عند ريمان (Riemann) حيّز النقاط الذي فيه يتلف الأثير باستمرار، وهي عند مفكرين آخرين أحدث عهداً مثل فيشارت (Wiechert) أو لارمور (Larmor) حيّز النقاط الذي يتسلط فيه على الأثير ضرب من الالتواء ذو طبيعة خاصة جدّاً.
[١٨٠] فإذا ما أراد أحدنا أن ينظر إلى الأشياء انطلاقاً من إحدى وجهات النظر هذه، فبأي حق سيكون له أن يسحب على الأثير ـ بتعلة أنه المادة الحقيقية ـ الخصائص الميكانيكية التي نعاينها في المادة الفجة بما هي مجرد مادة فاسدة.

لقد هجرنا فكرة السوائل القديمة، مثل السائل الحراري والكهرباء إلخ ...يوم أدركنا أن الحرارة ليست غير قابلة للتدمير. وقد هجرناها أيضاً لسبب آخر، وهو أنه لمّا جسمناها أبرزنا ـ إن صح القول ـ فردية كل سائل منها، فحفرنا بينها ما يشبه الهوة التي كان علينا سدها يوم انتابنا إحساس أكثر حدة بوحدة الطبيعة، فانتبهنا إلى العلاقات الحميمة القائمة بين جميع أجزائها، وإلى أن الفيزيائيين القدامى لم يقفوا ـ عندما أكثروا من السوائل ـ عند إيجاد كائنات لا يحتاج إليها فحسب، بل إنهم قطعوا صلات حقيقية.

وليس يكفي أن لا تؤكّد نظرية ما علاقات خاطئة بل الواجب فيها أيضاً أن تخفي علاقات صحيحة.

وهل لأثيرنا من وجود حقيقي؟

نحن نعلم مصدر القول بالأثير. فإذا ما وصل إلينا الضوء من نجم بعيد، فهو لم يعد فوقه منذ سنين عديدة، ولكنه لم يحطّ بعد على الأرض، لذلك وجب ضرورة أن يكون في موضع ما يقلّه - إن صح التعبير - حاملٌ مادي ما.

ولنا أن نصوغ الفكرة ذاتها صياغة ألصق بالرياضيات وأكثر تجريداً فنقول إنّ ما نلمسه متمثل في التغييرات التي تلحق بالجزيئات المادية حيث نرى - على سبيل المثال - أن الصفيحة الفوتوغرافية تتأثر بنتائج ظواهر كانت كتلة النجم الملتهبة مسرحاً لها منذ سنوات عديدة خلت، في حين أن حالة النظام موضوع الدرس لا ترتبط إلا بالحالة التي كان عليها في الآن السابق مباشرة. وبالتالي فإن النظام يستجيب لما تقتضيه المعادلات التفاضلية. أما إذا لم نقل - على العكس من ذلك بالأثير - فإن حالة الكون المادي لن ترتبط بحالته السابقة مباشرة وحدها، بل كذلك بحالات أقدم منها بكثير. وعندها يستجيب الكيان لما تقتضيه معادلات ذات [١٨١] فوارق متناهية، فنكون استنبطنا الأثير تفادياً للخروج عن قوانين الميكانيكا العامّة.

بل حتى ذلك لن يلزمنا إلاّ بملء الخلاء الكائن بين الكواكب أثيراً، من دون أن يلزمنا بإقحامه في عمق الأوساط المادية ذاتها. وقد ذهبت تجربة فيزو (Fizeo) إلى أبعد من ذلك، إذ بدت وكأنها ترينا - بواسطة تداخل أشعة اخترقت الهواء أو الماء وهما في حالة سكون - وسطين مختلفين يتداخلان على الرغم من تحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر، حتى ذهب بنا الظن إلى أننا نلمس الأثير فعلاً.

ويمكننا على رغم ذلك أن نتصور تجارب قد تجعلنا نلمسه لمّساً أدق. فلنفترض أن مبدأ نيوتن (Newton)، أي مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل، لا يكون صحيحاً إذا ما طبقناهُ على المادة

وحدها، ولنفترض أننا جربنا ذلك. فلن تكون المحصلة الهندسية لجميع القوى المسلطة على جميع الجزيئات المادية صفراً. لذلك كان الأمر يقتضي ـ ما لم نرد تغيير الميكانيكا برمتها ـ إقحام الأثير حتى يتوازن ذلك الفعل الذي ستبدو المادة منفعلة به برد الفعل على شيء ما.

ولي أن أفترض كذلك، أننا نعترف بأن الظواهر البصرية والكهربائية تتأثر بحركة الأرض، وسيؤول بنا الأمر عندها إلى استنتاج أنّ تلك الظواهر لا تستطيع أن تكشف لنا فقط عن الحركات النسبية التي تقوم بها الأجسام المادية، بل كذلك عمّا يمكن أن تكون حركاتها المطلقة وهو ما يقتضي ـ مرّة أخرى ـ وجود الأثير حتى لا تكون الحركات المطلقة المتوهمة، انتقالَ الأجسام المادية بالنسبة إلى مكان خلاء، بل تكون حركات بالنسبة إلى شيء ما محسوس.

فهل سنبلغ ذلك يوماً ما؟ ذلك أمل لا يراودني، وسآتي على ذكر السبب في ما بعد. ومع ذلك فهو ليس بأمل غاية في الحمق، بدليل أنه راود آخرين غيري.

فلو كانت نظرية لورانتس (Lorentz) مثلاً ـ وهي النظرية التي سأتحدث فيها لاحقاً حديثاً مفصلاً في الفصل الثالث عشر ـ نظرية صحيحة، فإن مبدأ نيوتن (Newton) لن يطبق على المادة وحدها [١٨٢]
ولن يعسر كثيراً أن يكون الفرق في متناول التجربة.

وقد أجريت فعلاً ـ من ناحية أخرى ـ أبحاثاً متعلقة بتأثير حركة الأرض وكانت النتائج سلبية دائماً. ولكنّ المبادرة بإجراء تلك التجارب دالّة على أننا لم نكن متأكدين من ذلك سلفاً، بل كان الاعتقاد الغالب في النظريات السائدة أن التعويض لا يكون إلا تقريبياً، وأنه علينا انتظار ظهور مناهج دقيقة من شأنها أن تقدم نتائج إيجابية.

وفي اعتقادي أن أملاً كهذا أمل وهمي لا يقل غرابة عن ادعاء أن نجاحاً من هذا القبيل سيفتح لنا ـ إن صح القول ـ عالماً جديداً.

وليؤذن لي الآن في شيء من الاستطراد، إذ عليّ أن أشرح لم لا أعتقد ـ خلافاً لما ذهب إليه لورانتس (Lorentz) ـ بصحة القول بأنّ ملاحظات أدق تستطيع أن تكشف لنا عن شيء آخر غير الإزاحات النسبية التي تعرض للأجسام المادية. فقد أجريت تجارب كان المفروض فيها أن تكشف عن حدود من الصنف الأول ولكن النتائج كانت سلبية. فهل يعزى ذلك للصدفة؟ ما من أحد سلّم بذلك، بل اجتهد القوم في تقديم تفسير له، حتى وجده لورانتس (Lorentz) حيث بيّن أن المفروض في حدود الصنف الأوّل أن تتلف بالضرورة، غير أن الأمر يجري على غير ذلك بالنسبة إلى حدود الصنف الثاني. فأجريت عندئذ تجارب أدقّ فكانت سلبية النتائج كذلك، وهو ما لا يمكن أن يكون وليد الصدفة، فوجب تفسير ذلك، ووُجد التفسير فعلاً، وهو ما يحصل دائماً، لأن الفرضيات أقل ما يعوزنا.

غير أن ذلك لا يكفي. فمن لا يشعر منا أننا ما زلنا نولي الصدفة دوراً أكبر مما يحتاج إليه؟ أليس من قبيل الصدفة أيضاً أن يوجد هذا المدد العجيب الذي يجعل ضرباً من الظروف يظهر في اللحظة المواتية ليبدّد حدود الصنف الأول، وضرباً آخر مختلفاً عنه تماماً، ولكنه مؤات مثله مؤاتاة كلية، يتكفّل بإتلاف حدود الصنف الثاني؟ كلاّ بل علينا إيجاد تفسير واحد للحالتين. وعندها سنُحمل على الاعتقاد أن ذلك التفسير المطلوب سينسحب أيضاً على حدود [١٨٣] من صنف أعلى، وأن إتلاف تلك الحدود بعضها بعضاً سيكون صارماً ومطلقاً.

العلوم في وضعها الراهن ـ منزعان متضادان يتمايزان في

تاريخ تطور الفيزياء. فمن ناحية أولى، نحن نكتشف باستمرار صلات جديدة بين أشياء كان يبدو أن الواجب فيها أن تبقى منفصلة إلى الأبد. فإذا الوقائع المتناثرة لم تعد غريبة بعضها عن البعض فتنزع إلى الانتظام في تأليفية هائلة، وإذا العلم يتقدم نحو الوحدة والبساطة.

ثم إن التجربة ـ من ناحية أخرى ـ تكشف لنا كل يوم، عن ظواهر جديدة تُلزم بالانتظار زمناً طويلاً حتى تأخذ مكانها. وينبغي علينا في بعض الأحيان أن نهدم ركناً من البناء لنخلي لها مكاناً تحتله. ونحن نكشف عن دقائق تزداد يوماً بعد يوم تنوعاً في مستوى الظواهر المعلومة نفسها حيث كانت حواسنا الرعناء تبدي لنا الانتظام، فإذا بما ظنناه بسيطاً يصبح معقداً من جديد، وإذا العلم يبدو وكأنه يتقدم في اتجاه التنوع والتعقيد.

فلأي من هذين المنزعين المتضادين المتداولين ـ بحسب الظاهر ـ على الانتصار، سيكتب الفوز نهائياً؟ فإذا ما انتصر المنزع الأوّل كان العلم ممكناً، إلاّ أنه ليس ثمّة ما يشهد لذلك قبلياً بل قد نخشى أن نجد أنفسنا مكرهين ـ بعد بذل جهد عقيم لإخضاع الطبيعة قسراً لأنموذج الوحدة عندنا ـ على التخلي بحكم ما غمرنا من فيض ثرواتنا الجديدة المتنامي بلا هوادة ـ عن تصنيف تلك الثروات، وهجر مثلنا الأعلى، وقصر العلم على تسجيل وصفات لا حصر لها.

ليس في متناولنا أن نجيب عن هذا السؤال، وأقصى ما نستطيعه أن نتأمل علم اليوم، ونقارنه بعلم الأمس، عسانا نفوز باستخراج بعض القرائن.

لقد راودتنا منذ نصف قرن خلا أعظم الأماني، فأبان لنا اكتشاف مبدأ بقاء الطاقة وتحولاتها عن وحدة مفهوم القوّة، وأشار بذلك إلى إمكان تفسير الحرارة بحركات الجزيئات. أمّا طبيعة تلك

الحركات، فذلك ما لم نكن نعرفه آنذاك معرفة دقيقة، ولم يعترنا [١٨٤] أيّ شكّ في أن نعرفه عن قريب، ولا سيما أن المسألة كانت تبدو كالمفروغ منها بالنسبة إلى الضوء، وأقل تبلوراً بالنسبة إلى الكهرباء، ولم يمض إلا بعض الوقت على ضم الضوء للمغناطيس، فكان ذلك خطوة عملاقة بل قل نهائية في اتجاه الوحدة. ولكنْ كيف للكهرباء، أن تنضمّ بدورها إلى الوحدة العامة؟ كيف يمكن أن تردّ إلى الآلية الكونية؟ لم تكن لدى العلماء أيّة فكرة عن ذلك آنذاك، ولكن ما من أحد كان يشك في إمكان ذلك، بل كان الإيمان به قائماً. أما في ما يتعلق ـ أخيراً ـ بخاصيات جزيئات الأجسام المادية، فقد كان يبدو ردّها إلى الآلية الكونية أيسر، ولكن التفاصيل ظلت في غشاء ضبابي، وباختصار كانت الآمال رحبة تطفح بالحياة لكنها غائمة.

فماذا نرى اليوم؟

لنسجل ـ بادئ الأمر ـ حصول تقدم. بل إنه تقدم كبير حيث أصبحت الآن العلاقات بين الضوء والكهرباء معروفة، ولم تعد مجالات الضوء والكهرباء والمغناطيس الثلاثة تشكل إلا مجالاً واحداً، بعد أن كانت أمس منفصلة. ويبدو أن هذا الانضمام نهائي.

غير أن هذا الفتح كلّفنا بعض التضحيات. فالظواهر الكهربائية تنضم إلى الظواهر البصرية بصفتها حالات جزئية منها. وكان من اليسير عندنا أن نفسّرها ـ ما دامت منعزلة ـ بواسطة حركات كنا نظن أننا نعرف دقائقها، وكان الأمر على غاية من البساطة. أما اليوم فان قبول تفسيرٍ ما يقضي بانسحابه ـ من دون جهد ـ على المجال الكهربائي برمته، وهو ما لا يستقيم لنا من دون عناء.

وأفضل ما عندنا اليوم في هذا السياق نظرية لورانتس(Lorentz) التي تفسر ـ كما سنرى ذلك في الفصل الأخير ـ التيارات الكهربائية بواسطة حركات جزئيات صغيرة مكهربة. ولا

نزاع في أن هذه النظرية هي التي تقدم أفضل التفاسير للوقائع المعروفة، وهي التي تبرز أكبر عدد ممكن من العلاقات الصحيحة
[١٨٥] وهي التي سنجد لها أكبر الأثر في البناء النهائي. إلاّ أنّ نقيصة خطيرة سبق أن أشرت إليها لا تزال قائمة فيها فهي مناقضة لمبدأ نيوتن (Newton)، أي مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل، أو قل إنّ هذا المبدأ لا يمكنه في تقدير لورانتس (Lorentz) أن ينطبق على المادة وحدها، بل تقتضي صحته أن نأخذ في الاعتبار الأفعال التي يمارسها الأثير على المادة، ورد فعل المادة على الأثير. بيد أن الأقرب إلى الحقيقة ـ حتى إشعار آخر ـ أن الأمور لا تجري على هذا النحو.

ومهما يكن من أمر فإن نتائج أعمال فيزو (Fizeo) المتعلقة ببصريات الأجسام المتحركة وكذلك قوانين الامتصاص السوي منه واللاسوي، أصبحت كلها بفضل لورانتس (Lorentz) مترابطة في ما بينها ومع خاصيات الأثير الأخرى بصلات لا شك البتة في أنها لن تنفصم. فانظروا ما لقيت ظاهرة زيمن (Zeeman) الجديدة من يسر في اتخاذ مكانها الجاهز، وكيف ساعدت تلك الظاهرة أيضاً على تصنيف الدوران المغناطيسي الذي قال به فاراداي (Faraday) وهي ظاهرة استعصت على ما بذله ماكسويل (Maxwell) من الجهد. وتشهد تلك السهولة شهادة جيدة على أن نظرية لورانتس (Lorentz) لم تكن تجميعاً متصنعاً يوشك على الانقراض. ولربما يقتضي الأمر تحويرها، من دون أن يكون من الضروري تحطيمها.

غير أن لورانتس (Lorentz) لم يكن يطمح إلا إلى جمع البصريات برمتها وكلّ الديناميكا الكهربائية المتعلقة بالأجسام المتحركة، في نسق واحد، من دون أن يهتم بتقديم تفسير ميكانيكي لذلك. وقد ذهب لارمور (Larmor) إلى أبعد من ذلك، إذ احتفظ بما هو جوهري في نظرية لورانتس (Lorentz) وطعّمها ـ إن صح التعبير ـ بأفكار ماك-كولاغ (Mac-Cullagh) المتصلة

باتجاه حركات الأثير. ولسرعة الأثير عنده ذات الاتجاه والكم اللذين نجدهما في القوة المغناطيسية، وهي سرعة معروفة لدينا بحكم وقوع تلك القوة في متناول التجربة. وأياً كانت عبقرية هذا المسعى فإن نقيصة نظرية لورانتس (Lorentz) باقية، ولربما ازدادت استفحالاً، حيث إن الفعل ليس مساوياً لرد الفعل. ثم إننا لم نكن نعرف مع لورانتس (Lorentz) ما هي حركات الأثير، وكان بمستطاعنا -بحكم ذلك الجهل ـ أن نتصورها على نحو يجعلها ـ [١٨٦]
إذ توازن حركات المادة ـ تُعيد تساوي الفعل ورد الفعل إلى نصابه. أما مع لارمور (Larmor) فنحن نعرف حركات الأثير ونستطيع أن نعاين عدم حصول التعويض.

ولئن فشل لارمور (Larmor) على ما أظن، فهل يعني ذلك استحالة التفسير الميكانكي؟ إنه أمر مستبعد، وقد سبق أن قلت إنه بمجرد أن تخضع ظاهرة ما لمبدأ إبقاء الطاقة ومبدأ الفعل الأدنى، فإنها تقبل ما لا يحصى من التفاسير الميكانيكية، وبالتالي كان الأمر كذلك بالنسبة إلى الظواهر البصرية والكهربائية.

غير أن ذلك لا يكفي. فلكي يكون تفسيرٌ ما جيّداً وجب أن يكون بسيطاً. ويتطلب اختيار تفسير ميكانيكي بسيط من بين جميع التفاسير الميكانيكية البسيطة الممكنة، وجود أسباب أخرى غير لزوم الاختيار. والحق أننا لا نملك ـ حتى الآن ـ نظرية تستجيب لذلك الشرط. ويمكنها تبعاً لذلك أن تصلح لشيء ما. فهل علينا أن نأسف لذلك؟ لعلنا نكون عندها نسينا الهدف المنشود وهو شيء آخر غير الآلية. بل إن الهدف الحقيقي والوحيد إنما هو الوحدة.

علينا أن نحدّ من طموحاتنا، ولنعدل عن صياغة تفسير ميكانيكي، ولنقنع ببيان أنه باستطاعتنا على الدوام أن نعثر عليه كلما طلبناه، ولقد وفّقنا إلى ذلك كله. فمبدأ بقاء الطاقة لم يلق إلا التصديق، وانضم إليه مبدأ ثان هو مبدأ الفعل الأدنى بعد أن صيغ

بما يلائم الفيزياء وقد تحقق على الدوام هو أيضاً، على الأقل في المجال المتعلق بالظواهر المعتكسة الخاضعة لمعادلات لاغرانج (Lagrange) أي لأعم قوانين الميكانيكا.

أما الظواهر اللامعتكسة فهي أكثر استعصاء، ومع ذلك فهي أيضاً تنتظم وتنزع إلى الانضمام إلى الوحدة. وقد طلع علينا النور الذي هدانا إليها من مبدأ كارنو (Carnot) بحكم اقتصار الديناميكا الحرارية زمناً طويلاً على دراسة ظاهرة تمدد الأجسام والتغييرات الطارئة على حالتها، ثم إنها حزمت أمرها فوسعت ـ منذ عهد
غير بعيد ـ مجالها أيما توسيع. ونحن مدينون لها بنظرية العمود [١٨٧]
ونظرية الظواهر الكهروحرارية. وما من موضع في الفيزياء إلا وارتادته ثم اقتحمت الكيمياء ذاتها. فحيثما اتجهنا وجدنا القوانين ذاتها. وحيثما اتجهنا وجدنا ـ خلف تنوع المظاهر ـ مبدأ كارنو (Carnot) ـ وحيثما اتجهنا وجدنا أيضاً هذا المفهوم المجرد تجريداً مذهلاً، مفهوم العطالة الحرارية الذي لا يقل كونية عن مفهوم الطاقة، ويبدو دالاً مثله على واقع ملموس. فقد كانت الحرارة المشعة مستعصية عليه فإذا بنا نشهد في المدة الأخيرة خضوعها للقوانين نفسها.

وقد بانت لنا من خلال ذلك مماثلات جديدة امتدت أحيانا إلى التفاصيل. فالمقاومة الأومية تشبه لزوجة السوائل، أما الهسترة hystérésis، فأشبه ما تكون باحتكاك الأجسام الصلبة، حيث يبدو الاحتكاك في كل الحالات النمط الذي تحتذيه أكثر الظواهر اللامعتكسة تنوعاً. وتلك قرابة فعلية عميقة.

وقد سعى بعضهم أيضاً إلى تفسير تلك الظواهر تفسيراً ميكانيكياً صرفاً فلم تتهيأ له، إذ كان ذلك يتطلب إيجاد فرضية تُعتبر اللامعتكسية بمقتضاها مجرد مظهر خارجي، في حين تكون الظواهر الأولية معتكسة خاضعة لقوانين الميكانيكا المتعالمة. غير أن

تلك الظواهر الأولية على غاية من الكثرة، وهي تتمازج تمازجاً متزايداً، مما يجعل جميع الأشياء تبدو وكأنها تمشي في اتجاه واحد من دون أمل في ارتداد. وبهذا التقدير لا تكون اللامعتكسية الظاهرة إلا نتيجة من نتائج قانون الأعداد الكبرى. ولن يقدر على حل تلك الضفائر البالغة التعقيد فيجعل العالم يرتد إلى الوراء، إلا كائن على درجة عالية من رقة الحواس مثلما هو شأن جنيّ ماكسويل (Maxwell) الخيالي.

وقد كلف هذا التصور المرتبط بالنظرية الحركيّة في الغازات أصحابه مجهودات كبرى، ولكنه كان إجمالاً قليل الفائدة أو ربما آل إلى ذلك. وليس علينا هاهنا أن ننظر في ما إذا كان ذلك التصوّر لا يفضي إلى تناقضات، ولا في ما إذا كان مطابقاً لحقيقة طبيعة الأشياء.

على أننا نشير - مع ذلك - إلى رؤى السيد غوي (Gouy) المبتكرة في الحركة البروانية. فقد رأى هذا العالم أنّ تلك الحركة العجيبة [١٨٨] تستعصي على مبدأ كارنو (Carnot)، حيث يبدو أنّ الجزيئات التي تجعلها في حالة ارتجاج هي جزيئات أصغر من ثقوب تلك الضفائر الشديدة الحبك، وبالتالي فلربما استطاعت فكها فتجعل العالم يسير القهقرى حتى لكأن جنيّ ماكسويل (Maxwell) قد باشر عمله.

وباختصار، إن الظواهر المعروفة قديماً تنتظم أحسن فأحسن في حين أن الظواهر الجديدة لم تزل تبحث عن موضعها في ذلك المنتظم، وقد وفق لذلك جلّها سريعاً مثل ظاهرة زيمن (Zeemann)، ولكن بقيت خارجة عنه الأشعة الكاتودية وأشعة X وأشعة الأورانيوم والراديوم. فهاهنا عالم برمته لم يخطر ببال بشر. وما أكثر الضيوف الوافدين على غير موعد. والواجب يقضي بأن نعد لهم مستقراً.

وما من أحد يستطيع توقع المحل الذي سيستقرون به، ولكني لا أظن أنهم سيهدمون الوحدة العامة بل أذهب إلى أنها ستكتمل بهم، حيث يبدو أن الاشعاعات الجديدة مرتبطة بظواهر الاضاءة، وأنها لا تستثير التفلُور فحسب، بل إنها تنشأ هي أيضاً أحياناً في الظروف ذاتها التي ينشأ فيها هو.

وما هي ـ زيادة على ذلك ـ بالظواهر التي لا قرابة لها بالعلل التي تكمن وراء انفجار الشرر بفعل الضوء فوق البنفسجي، ونحن نظن أخيراً وعلى وجه الخصوص أننا نجد في جميع هذه الظواهر أيونات حقيقية متحركة بسرعات تتجاوز فعلاً ـ بما لا يقاس ـ سرعاتها في الالكتروليتات.

صحيح أن ذلك كله غائم فعلاً ولكنّه سيتّضح.

فقد كان التفلور وفعل الضوء في الشرارة مما يشكل جهات شبه معزولة وبالتالي شبه مهجورة من قبل الباحثين. ولنا اليوم أن نأمل أن بناء خط جديد عن قريب ييسّر تواصلهما مع العلم الكوني.

ونحن لا نقف عند اكتشاف ظواهر جديدة، بل ثمة أيضاً جوانب غير متوقعة تتجلى لنا من خلال ما كنا نظن أننا علمناه.
[١٨٩] فالقوانين تبقى ـ في الأثير الخالص ـ على بساطتها الرائعة، أما المادة بالمعنى الدقيق فهي متزايدة التعقيد، وأقصى ما نستطيع من القول فيها لا يكون إلا تقريبياً حيث تتطلب صيغنا باستمرار حدوداً جديدة.

ومع ذلك فإن الأطر لم تنكسر، والعلاقات التي كنا تعرّفنا عليها بين أشياء حسبناها بسيطة، لم تزل قائمة بين تلك الأشياء ذاتها بعد أن عرفنا تعقدها، وذلك وحده هو المهم. صحيح أن معادلاتنا تصير من أعقد إلى أعقد، طلباً لمسايرة تعقد الطبيعة مسايرة أقرب، ولكن شيئاً لم يتغير في العلاقات التي تسمح

باستنباط تلك المعادلات بعضها من بعض. وباختصار فإن أشكال تلك المعادلات بقيت صامدة.

لنأخذ على سبيل المثال قانوني الانعكاس. فقد وضعهما فرزنيل (Fresnel) بواسطة نظرية بسيطة خلاّبة كانت التجربة ـ على ما يبدو ـ أكدتها. ومنذ ذلك الحين، بيّنت أبحاث أكثر دقة أن ذلك التحقق لم يكن إلا تقريبياً، إذ كشفت عن وجود بقايا استقطاب إهليليجي موزعة على أماكن متعدّدة. ولكننا وقفنا مباشرة ـ بفضل ما قدمته لنا المباشرة التقريبية الأولى من عون ـ على سبب ذلك الشذوذ البصري المتمثل في وجود طبقة تمرّ منها الأشعة، فبقيت نظرية فرزنيل (Fresnel) قائمة في خطوطها الأساسية.

غير أن المرء لا يملك الامتناع عن الادلاء بهذه الفكرة، وهي أنه لو كنا تفطنا ـ بادئ ذي بدء ـ إلى تعقد الموضوعات التي تربط بينها جميع تلك العلاقات، لبقيت تلك الموضوعات غائبة عن الأنظار. وقد قيل منذ زمن طويل إنه لو كانت في حوزة تيكو (Tycho) معدات أدق عشرَ مرات من تلك التي توفرت له، لما وجد البتة لا كبلر (Kepler) ولا نيوتن (Newton) ولا علم الفلك. وإنه لمن أسباب تعاسة علم ما، أن ينشأ متأخراً جدّاً، أي بعدما تصبح وسائل الملاحظة غاية في الجودة. وهو الوضع الذي تعيشه اليوم الفيزياء الكيميائية، إذ يتضايق مؤسسوها في مختصراتهم من العشريتين الثالثة والرابعة ومن حسن الحظ أنهم قوم راسخ إيمانهم بما يفعلون.

[١٩٠] وعلى قدر ما نعرف خصائص المادة معرفة أفضل ندرك أن التواصل غالب عليها. فقد صرنا ندرك منذ ظهور أعمال أندروس (Andrews) وأعمال فان ديل فالس (Van del Wals) كيفية الانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وندرك أنه ليس انتقالاً

مباغتاً، ولا وجود لهوة بين الحالتين. وقد شاهدنا في تقارير قدمت خصيصاً في مؤتمر علمي انعقد مؤخراً عملاً متصلاً بجساءة السوائل، إلى جانب رسالة متعلقة بسيلان الأجسام الصلبة.

والأرجح أن هذا المنزع سيجعل البساطة خاسرة. فالظاهرة الفلانية كان يمثل لها بعدة مستقيمات فوجب ربط تلك المستقيمات بواسطة منحنيات متراوحة التعقيد. وفي مقابل ذلك يجعل هذا المنزع الوحدة تربح كثيراً، ذلك أن تلك المقولات الحادة، كانت تريح الفكر ولكنها لم تكن ترضيه.

وأخيراً اقتحمت مناهج الفيزياء ميداناً جديداً هو ميدان الكيمياء. فقد ولدت الفيزياء الكيمياوية وهي لا تزال طرية العود، ولكننا نعلم سلفاً أنها ستسمح لنا بأن نشدّ إلى بعضها بعضاً، ظواهرَ مثل الالكتروليز والتنافذ، وحركات الأيونات.

ماذا نستنتج من هذا العرض السريع؟

إذا قدرنا الأشياء التقدير الصحيح، وجدنا أننا اقتربنا من الوحدة، ولئن لم نصل إليها بالسرعة التي كنا نأملها منذ خمسين سنة، ولئن لم نسلك إليها دائماً الطريق المرسوم، فقد غنمنا ـ في نهاية الأمر ـ خيراً كثيراً.

الفصل الحادي عشر

حساب الاحتمالات

[١٩١] قد نعجب لوجود تأملات في حساب الاحتمالات في هذا الموضع. فما علاقته بمنهج العلوم الفيزيائية؟

مع ذلك فإن المسائل التي سأتولى إثارتها من دون أن أجيب عنها تطرح نفسها تلقائياً على الفيلسوف الذي يطلب تدبر الفيزياء، ناهيك أني انسقت مراراً عديدة في الفصلين السابقين إلى ذكر لفظي الاحتمال والصدفة.

فلقد سبق لي أن قلت: «إن الوقائع المرتقبة لا يمكن أن تكون إلا وقائع محتملة. ولذا فمهما بدا لنا توقع ما متين الأسس فلن نكون أبداً على يقين مطلق من أن التجربة لن تكذبه إذا ما بادرنا إلى التحقق منه. ولكن ذلك الاحتمال يكون عادة على درجة عالية من القوة بحيث نستطيع عملياً الاكتفاء به»(١).

ثم إني أضفت بعد ذلك بقليل ما يلي: «لنتساءل عن الدور الذي يقوم به معتقد البساطة في تعميماتنا. فقد تحققنا من قانون بسيط في عدد لا بأس به من الحالات الجزئية، ثم إننا أبينا على

---

(١) انظر الإشارة رقم [١٦٠]، ص ٢٢٠ من هذا الكتاب (المترجم).

أنفسنا التسليم بأن ذلك الالتقاء المكرور في حالات كثيرة هو مجرد أثر من آثار الصدفة»[٢].

وهكذا يجد الفيزيائي نفسه في وضعيات كثيرة على ما يكون عليه لاعب يحتسب حظوظه المحتملة. فكلما استدلّ استقرائياً استعمل بطريقة شبه واعية حساب الاحتمالات.

لذلك السبب وجدت نفسي ملزماً بفتح قوسين وتأجيل النظر
[١٩٢] في منهج علوم الفيزياء، لأفحص مليّاً قيمة هذا الحساب ومدى الثقة التي هو بها جدير.

إن اسم حساب الاحتمالات يشكل في حد ذاته مفارقة، لأن الاحتمال يعني ـ في مقابل اليقين ـ ما لا نعلم. وكيف يتهيأ لنا حساب ما لا نعلم؟ ومع ذلك فقد اهتم الكثير من مشاهير العلماء بهذا الحساب وليس لنا أن ننكر أن العلم قد غنم منه بعض الغنم. فكيف نفسر هذا التناقض الظاهر؟

هل عُرّف الاحتمال؟ وهل يمكن حتى أن يعرّف؟ وإذا لم يكن ذلك ممكناً فكيف نتجاسر على التفكر فيه؟ قد يقال إن تعريفه من أبسط ما يكون حيث إن احتمال حدث ما، هو النسبة بين عدد الحالات المؤاتية لذلك الحدث، والعدد الكلي للحالات الممكنة.

مثال بسيط يجعلنا ندرك مدى ما في هذا التعريف من النقص. أرمي بزهرتيْ نرد. فما هو احتمال أن تعطي إحدى الزهرتين العدد ٦. يمكن لكل زهرة أن تعطي ستّ نقاط مختلفة فيكون عدد الحالات الممكنة $36 = 6 \times 6$ عدد الحالات المواتية 11 فالاحتمال هو $\frac{11}{36}$.

ذلك هو الحل الصحيح. ولكن ألا يكون لي أيضاً أن أقول

(٢) انظر الإشارة رقم [١٩١]، ص ٢٥٥ من هذا الكتاب (المترجم).

إن النقـاط التـي يمكـن أن تعطيهـا الزهرتـان تشكـل $21 = \frac{7\times 6}{2}$ توفيقاً مختلفاً؟ وتوجد ضمن تلك التوفيقات ٦حالات مؤاتية فيكون الاحتمال $\frac{6}{21}$.

فلماذا كانت الطريقة الأولى في احتساب الحالات الممكنة أكثر شرعية من الثانية؟ ذلك ـ على كل حال ـ ما لا يفيدنا به التعريف المقترح.

وبالتالي نكون ملزمين بإتمام هذا التعريف فنقول: «...والعدد الكلي للحالات الممكنة شريطة أن تكون تلك الحالات متساوية الاحتمال». وهكذا نقسر أنفسنا على تعريف المحتمل بالمحتمل.

كيف لنا أن نعرف أن حالتين ممكنتين هما أيضاً حالتان [١٩٣] متساويتا الاحتمال؟ هل يكون ذلك اصطلاحاً؟ فإذا ما وضعنا في بداية كل مشكل اصطلاحاً صريحاً فسيستقيم الأمر جيّداً، ولن يكون علينا إلا تطبيق قواعد علم الحساب والجبر، وسنتوغل في الحساب إلى أقصى حد، من دون أن تكون نتيجتنا عرضة لأيّ شكّ. لكن ما إن نبادر إلى تطبيق ذلك الاصطلاح، حتى يصبح من الواجب البرهنة على مشروعيته، فإذا نحن من جديد إزاء الإشكال الذي حسبنا أننا تجاوزناه.

هل لنا أن نزعم أن الحسّ السليم يكفي لإرشادنا إلى الاصطلاح الواجب وضعه؟ وا أسفاه! فلقد تلهى السيد برتراند (Bertrand) بمحاولة حلّ هذا المشكل البسيط: «ما هو احتمال وجود وتر في محيط الدائرة يكون أكبر من ضلع مثلث متساوي الأضلاع تحيط به الدائرة؟» وقد تبنى هذا المهندس الشهير تباعاً اصطلاحين، كان الحس السليم يبدو أنه يفرضهما بالتساوي، فكانت النتيجة مع أحدهما $\frac{1}{2}$ ومع الآخر $\frac{1}{3}$.

وما يلزم عن ذلك كله من نتائج هو ـ على ما يبدو ـ أن حساب الاحتمالات علم لا يرجى منه خير، وأنه يجب اتقاء هذه

الغريزة المبهمة التي سميناها حساً سليماً وطلبنا إليها أن تصيّر اصطلاحاتنا مشروعة.

غير أنه لا يمكننا أيضاً أن نوافق على هذه النتيجة إذ لا غنى لنا عن تلك الغريزة المبهمة، ومن دونها سيصبح العلم مستحيلاً، ولن نستطيع لا اكتشاف قانون، ولا تطبيقَهُ. فهل من حقنا مثلاً أن نصوغ قانون نيوتن (Newton)؟ ذلك أمر لا ريب فيه، إذ إن كثيراً من الملاحظات متطابقة معه .ولكن ألا يعزى ذلك التطابق إلى مجرد الصدفة؟ وكيف لنا ـ إضافة إلى ذلك ـ أن نعرف أنّ هذا القانون سيكون صحيحاً السنة المقبلة، رغم صحته منذ قرون عديدة؟ ولن تجد ما تجيب به عن هذا الاعتراض إلا أن تقول: «ذلك أمر ضعيف الاحتمال».

[١٩٤] ولكن لنسلم بهذا القانون. أعتقد أنه باستطاعتي أن أحسب بفضله موقع المشتري السنة المقبلة. فهل من حقي أن أفعل ذلك؟ ومن أدراني أنه لن تمر بقرب النظام الشمسي، من الآن حتى ذلك الموعد ، كتلة ضخمة تتحرك بسرعة هائلة فتحدث اضطرابات غير منتظرة؟ ليس لنا ها هنا أيضاً ما نجيب به إلا أن نقول: «ذلك أمر ضعيف الاحتمال».

وبهذا التقدير لن تكون جميع العلوم إلا تطبيقات غير واعية لحساب الاحتمالات حتى إن إبطاله إنما هو إبطال العلم برمته.

ولن ألحّ كثيراً على المسائل العلمية التي يكون فيها تدخل حساب الاحتمالات أكثر جلاءً وأولها مشكل الاستكمال حيث نتكلف تحسس القيم الوسيطة ـ انطلاقاً من معرفة عدد ما من قيم دالة ما ـ.

وسأذكر كذلك النظرية الشهيرة في أخطاء الملاحظة التي سأعود إليها لاحقاً، والنظرية الحركية في الغازات، تلك الفرضية الشهيرة القاضية بأن يرسم كل جزئي غازي مساراً على غاية من

التعقيد. ولكن الظواهر الوسطى القابلة وحدها للملاحظة تخضع في إطارها ـ بحكم قانون الأعداد الكبرى ـ لقوانين بسيطة هي قوانين ماريوت (Mariotte) وغي ـ لوساك (Gay-Lussac).

إن جميع تلك النظريات تستند إلى قوانين الأعداد الكبرى، وهي ستندثر إذا ما اندثر حساب الاحتمالات. صحيح أنها لا تشكل إلاّ أهمية جزئية، وأنه يمكن أن نرى في تخلخلها ـ باستثناء ما تعلّق منها بالاستكمال ـ تضحيات ربما نضطرّ إليها.

وقد سبق أن قلت إن الأمر لن يدور على تضحيات جزئية فحسب، بل على العلم برمته، إذ تصبح شرعيته محلّ شك.

وأنا أتوقع جيداً ما لقائل أن يقول: «نحن في وضع الجاهل، وعلينا مع ذلك أن نعمل. وليس لدينا ـ لكي نعمل ـ متسعٍ من الوقت ننقطع فيه لبحث مستفيض نرفع به جهلنا، فضلاً عما يستغرقه ذلك البحث من زمن لا ينتهي. لذلك كان علينا أن نحزم [١٩٥] أمرنا من دون معرفة، بل وجب علينا القيام بذلك بحسب المتاح لنا، فنأخذ بالقواعد من دون إفراط في الاعتقاد بصحتها. فما أعرفه ليس أن الشيء الفلاني صحيح، بل إن الأجدى لي أن أتصرف وكأنما هو صحيح». وبهذا التقدير لن يكون لحساب الاحتمالات، وبالتالي للعلم، إلا قيمة عملية.

ومما يؤسف له، أن الإشكال لا ينحلّ بهذه الطريقة. فهذا لاعب أراد أن يجرب حظه وطلب إليّ نصيحة. فإذا استجبت له، استلهمت حساب الاحتمالات من دون أن أضمن له الفوز. ذلك هو ما أسميه بالاحتمال الذاتي. ويمكن في هذه الحالة الاكتفاء بالتفسير الذي كنت بصدد عرض خطوطه الكبرى. غير أني أفترض أن ملاحظاً شهد المباراة، وسجّل جميع الضربات، وأن تلك المباراة استغرقت زمناً طويلاً، فسيسجل عند الرجوع إلى كشوفات دفتره، أن الأحداث توزّعت وفق ما يقتضيه حساب الاحتمالات، وذلك

هو ما أسميه بالاحتمال الموضوعي وهي الظاهرة التي ينبغي تفسيرها.

توجد شركات تأمين كثيرة تطبّق قواعد حساب الاحتمالات، وتوزع على المساهمين فيها حصصاً من المرابيح لا يمكن الاعتراض على حقيقتها الموضوعية، ولا يكفي لتفسيرها أن نتذرع بجهلنا وبضرورة الفعل.

وهكذا فلا محل للريبية المطلقة بل علينا باليقظة وليس لنا أن ننكر الأشياء جملة من دون تمييز، بل من الضروري أن نمعن النظر في كل شيء.

١ ـ تصنيف مشاكل الاحتمالات ـ يمكن ـ لتصنيف ما يطرح من المشاكل المتصلة بالاحتمالات - أن ننظر إليها من زوايا مختلفة، **وأولها تلك المتعلقة بعموم المسألة**. لقد سبق أن قلت إن الاحتمال هو نسبة عدد الحالات المؤاتية إلى عدد الحالات الممكنة وما أسميه ـ لانعدام لفظ أفضل ـ بالعموم سيتزايد مع
[١٩٦] عدد الحالات الممكنة، ولربما كان هذا العدد متناهياً كأن نأخذ ـ على سبيل المثال ـ ضربة زهرتي نرد حيث يكون عدد الحالات الممكنة ٣٦ . ذلك هو المستوى الأول من العموم.

أما إذا ما تساءلنا مثلاً عن احتمال أن تكون نقطة واقعة في وسط دائرة، واقعة أيضاً في وسط المربع المحاط بالدائرة لانتهينا إلى أنه يوجد من الحالات الممكنة على قدر ما في الدائرة من النقاط، أي عدد لامتناه منها. وتلك هي الدرجة الثانية من العموم. ولنا أن نذهب به إلى أبعد من ذلك، إذ بإمكاننا أن نتساءل عن احتمال استجابة دالة ما لشرط ما. وثمة هاهنا من الحالات الممكنة على قدر ما نتخيل من الدوال المختلفة. وتلك هي الدرجة الثالثة من العموم، وهي التي نبلغها عندما نحاول مثلاً تحسس القانون الأكثر احتمالاً وفقاً لعدد محدود من الملاحظات.

ولنا أن ننظر إلى المسألة من زاوية أخرى مختلفة تماماً عن سابقاتها. فلولا جهلنا لما وجد الاحتمال، ولكان اليقين وحده سائداً، إلا أن جهلنا ليس جهلاً مطلقاً وإلا لما وجد الاحتمال أيضاً، إذ لا بد من بعض النور، ولو لإدراك ذلك العلم اللايقيني. وهكذا أمكن تصنيف مشاكل الاحتمال بحسب مدى عمق ذلك الجهل.

فنحن نستطيع سلفاً في الرياضيات، أن نطرح على أنفسنا مشاكل في الاحتمال. فما هو احتمال أن يكون العشري الخامس من لوغاريتم أخذ صدفة من جدول، يساوي ٩. ولن نتردد في الإجابة بأن ذلك الاحتمال يساوي $\frac{1}{10}$ فنحن نسيطر هاهنا على جميع معطيات المشكل ونستطيع حساب هذا اللوغاريتم من دون التجاء إلى الجدول، ولكننا لا نريد أن نكلّف أنفسنا هذا العناء وتلك هي الدرجة الأولى من الجهل.

أما في العلوم الفيزيائية فجهلنا أفدح. ذلك أن حالة كيان ما، في آن ما معطى، يرتبط بشيئين هما حالته الابتدائية والقانون الذي بمقتضاه تتغير تلك الحالة. فإذا ما عرفنا ذلك القانون وتلك الحالة، [١٩٧]
فلن يكون علينا إلا حل مشكل رياضي فنعود عندئذ إلى الدرجة الأولى من الجهل.

ولكن يتفق أحياناً أن نعرف القانون، ولا نعرف الحالة الابتدائية، كأن نتساءل مثلاً عن التوزع الحالي للكواكب الصغيرة. فنحن نعلم أنها تخضع منذ أقدم العصور لقوانين كبلر (Kepler)، ولكن نجهل ما كان عليه توزعها الابتدائي.

ونحن نفترض في النظرية الحركية للغازات، أن الجزيئات الغازية تسلك مسارات مستقيمة، وتخضع لقوانين الاصطدام التي تخضع لها الأجسام المرنة. ولكن لما كنّا لا نعرف شيئاً عن سُرعاتها الابتدائية، فإننا لا نعرف شيئا عن سرعاتها الحالية.

وحساب الاحتمالات لا غير يمكّن من توقع الظواهر الوسطى التي تنتج عن تركيب تلك السرعات. وتلك هي الدرجة الثانية من الجهل.

ويمكن أخيراً أن لا تكون الشروط الابتدائية وحدها مجهولة بل كذلك القوانين ذاتها. وهكذا نبلغ الدرجة الثالثة من الجهل، فلا يكون بوسعنا أن نثبت أيّ شيء يتعلق باحتمال ظاهرة ما.

ويتفق أحياناً أن نعرف الأحداث فنحاول تحسس قانون حدوثها، بدل محاولة تحسس الحدث بحسب معرفة القانون معرفة متراوحة النقص، أي أننا نطلب استخراج العلل من النتائج بدل استخراج النتائج من العلل. وتلك هي المشاكل المسمّاة بمشاكل احتمال العلل، وهي الأهمّ بالنظر إلى تطبيقاتها العلمية.

ها أنذا ألعب لعبة التبعيدة مع شخص أعلم أنه غاية في الاستقامة. وها هو ذا يوزع أوراق اللعب. فما هو احتمال أن يقلب ورقة الملك ؟ إنه $\frac{1}{8}$ فهذا مشكل من مشاكل احتمال النتائج. ثم ها أنذا ألعب مع شخص لا أعرفه. وها هوذا يوزع أوراق اللعب ١٠
[١٩٨] مرات، ويقلب ورقة الملك ٦ مرات، فما هو احتمال أن يكون ذلك الشخص محتالاً[٣]؟ فهذا مشكل من مشاكل احتمال العلل.

ويمكننا أن نقول عنه إنه المشكل الأساسي في المنهج التجريبي. فقد لاحظت n قيمة من x ولاحظت القيم التي تقابلها من y. وعاينت أن نسبة قيم y إلى قيم x، أقرب ما تكون إلى النسبة الثابتة. ذلك هو الحدث، فما هي علته؟

هل يحتمل أن يوجد قانون عام يكون yبمقتضاه متناسباً مع x وتعزى الفويرقات بينهما إلى أخطاء الملاحظة؟ ذلك ضرب من

(٣) لو ترجمنا النص الفرنسي حرفياً لوضعنا لفظاً إغريقياً أو يونانياً بدل لفظ محتال (المترجم).

الأسئلة التي لا مناص لنا من طرحها دائماً، ونحن نحلها لاشعورياً كلما باشرنا العلم.

وسأتولى الآن عرض هذه الأنواع المختلفة من المشاكل بالنظر ـ على التوالي ـ في ما سبق أن سمّيته بالاحتمال الذاتي والاحتمال الموضوعي.

٢ ـ **الاحتمال في العلوم الرياضية** ـ تمت البرهنة منذ ١٨٨٣ على استحالة تربيع الدائرة. ولكن جميع المهندسين كانوا قبل ذلك التاريخ يعتبرون تلك الاستحالة على درجة عالية من الاحتمال، ناهيك عن أن أكاديمية العلوم كانت ترفض الأبحاث التي يرسل بها إليها كل سنة بعض المجانين الأشقياء في الموضوع، من دون أن تنظر فيها. وما كان أكثر تلك الأبحاث واحسرتاه!

هل كانت الأكاديمية على خطأ؟ بالطبع لا. بل إنها كانت تعلم جيّداً أنها لن تتسبب ـ بتصرفها ذاك ـ في وأد اكتشاف جاد. ولئن لم تكن تستطيع البرهنة على أنها على حق، فإنها كانت على علم جيد، أنه ما كان لغريزتها أن تخدعها. ولو أنت سألت الأكاديميين لكانوا أجابوك بما يلي: «لقد قارنّا احتمال أن يعثر عالم مغمور على الأمر المطلوب عبثاً منذ غابر الأزمان باحتمال أن ينضاف مجنون آخر إلى مجانين الأرض، فظهر لنا أن الاحتمال الثاني أكبر». تلك أدلة في منتهى الجودة، ولكن لا علاقة لها بالرياضيات، وإنما هي من قبيل بسيكولوجي محض.

[١٩٩] ولو أنت أكثرت من الإلحاح عليهم لأضافوا ما يلي: «لم تريدون أن تكون قيمة محددة من قيم دالة متسامية، عدداً جبرياً؟ وإذا كان π جذراً لمعادلة جبرية، فلم تصرون على أن يكون ذلك الجذر دورة للدالة $\text{Sin } 2x$، من دون أن يكون الأمر كذلك بالنسبة إلى الجذور الأخرى لتلك المعادلة ذاتها؟» وباختصار فإنهم سيتعلّلون بمبدأ العلة الكافية في أكثر أشكاله غموضاً.

ولكن ماذا كان بمستطاعهم أن يستنتجوا منه؟ فقصارى ما يمكنهم بلوغه من ذلك إنما هو قاعدة سلوكية تُتّبع في صرف أوقاتهم، عساهم ينفقونها إنفاقاً أجدى في أعمالهم العادية بدل إنفاقها في قراءة هذيان كان يوحي لهم بارتياب مشروع. إلا أنه لا شأن لما سبق أن سميته بالاحتمال الموضوعي بهذا المشكل الأول.

والأمر يجري مجرى آخر بالنسبة إلى المشكل الثاني.

لنعتبر اللوغاريتمات العشرة آلاف الأولى الموجودة بالجدول. آخذ صدفة واحداً من هذه العشرة آلاف لوغاريتم. فما هو احتمال أن تكون عشريته الثالثة عدداً زوجياً؟ ولن تترددوا في الإجابة بأنه $\frac{1}{2}$. وإذا ما أحصيتم بالفعل في جدول الأعداد العشرية الثالثة لهذا العدد ١٠,٠٠٠ لوجدتم من الأعداد الزوجية على قدر ما تجدون من الأعداد الفردية.

أو لنكتب - إذا ما كنتم تفضلون ذلك - عشرة آلاف عدد تقابل الـ ١٠,٠٠٠ لوغاريتم التي بين أيدينا. فكل واحد من هذه الأعداد يساوي +١ إذا ما كان العشري الثالث للوغاريتم المقابل زوجياً، وهو يساوي -١ في الحالة المضادة؛ لنأخذ بعد ذلك معدل هذه الأعداد ١٠,٠٠٠.

لن أتردد في القول باحتمال أن يكون معدل هذه الأعداد ١٠,٠٠٠ صفراً. وسأتحقق - إذا ما أجريت العملية بالفعل - من أنه عدد ضئيل جدّاً.

غير أن التحقق ذاته غير مجد، لأنه كان بإمكاني أن أبرهن بصرامة على أن ذلك المعدّل أصغر من ٠,٠٠٣. ويوجب عليّ وضع تلك النتيجة إجراء حساب طويل لا مكان له ها هنا، أقتصر [٢٠٠]
في شأنه على الإحالة على مقال نشرته في المجلة العامة للعلوم بتاريخ ١٥ نيسان/أفريل ١٨٩٩ مكتفياً بلفت الانتباه إلى أمر

واحد، وهو أني لم أكن أثناء إجراء ذلك الحساب في حاجة إلا إلى الاستناد إلى شيئين، وهما أن المشتقتين الأولى والثانية للوغاريتم تظلان داخل المجال المعتبر، واقعتين بين حدود ما.

ومن ها هنا خرج هذا الاستنتاج الأول، وهو أن تلك الخاصية ليست صحيحة بالنسبة إلى اللوغاريتم فحسب، بل هي صحيحة أيضاً بالنسبة إلى كل دالة متّصلة، باعتبار أن مشتقات كل دالة متصلة مشتقات محدودة.

ولئن كنت سلفاً على يقين من النتيجة فلأني ـ قبل كل شيء ـ كنت غالباً ما لاحظت ظواهر مماثلة لتلك متعلّقة بدالات متّصلة أخرى، ثم لأني كنت أقوم داخلياً وبطريقة هي أدنى إلى اللاشعور والنقص بالاستدلال الذي قادني إلى المتباينات السابقة مثلما يفعل الحاسب المتمرس إذ يتفطن ـ قبل إنهاء عملية الضرب ـ إلى أن «النتيجة هي تقريباً كذا...».

ولما لم يكن ـ بالإضافة إلى ذلك ـ ما سميته بالحدس إلا لمحة منقوصة عن الاستدلال الحقيقي، أدركنا لم أكدت الملاحظةُ توقعاتي، ولِمَ كان الاحتمال الموضوعي متطابقاً مع الاحتمال الذاتي.

وسأختار المشكل التالي مثالاً ثالثاً أسوقه. نأخذ صدفة العدد U. والعدد n عدداً صحيحاً معطى وكبيرًا جداً. فما هي $\text{Sin } nu$ المحتملة؟ لا معنى لهذا المشكل في حد ذاته. ولا بد من وضع اصطلاح ما، إذا أردنا أن يكون له معنى. وسنصطلح على أن احتمال وجود العدد U بين a و$a + da$ يساوي $\varphi(a)da$. وبالتالي يكون هذا الاحتمال متناسباً مع امتداد المجال اللامتناهي الصغر da، ومتساوياً مع ذلك الامتداد مضروباً في الدالة $\varphi(a)$ التي لا ترتبط إلاّ بـ a. أما تلك الدالة فأختارها تحكمياً على شرط افتراضها دالة متّصلة. واعتباراً إلى أن قيمة $\text{Sin } nu$ لا تتغيّر عندما

تتزايد u بمقدر 2π أمكنني أن أفترض ـ من دون حصر من العموم ـ أن u واقعة بين O و2π. وهكذا يؤول بي الأمر إلى افتراض أن [٢٠١]
$\varphi(a)$ دالة دورية تساوي دورتها 2π.

وتصاغ القيمة المحتملة المطلوبة بيسر بواسطة تكامل بسيط. ومن السهل بيان أن ذلك التكامل أصغر من

$$\frac{2\pi MK}{nk}.$$

علماً بأن M^k هي أكبر قيم المشتقة K^e للدالة $\varphi(u)$ ونرى أنه إذا كانت المشتقة K^e متناهية، آلت القيمة المحتملة إلى الصفر عندما تتزايد n بلا تحديد، ويكون ذلك بشكل أسرع من تزايد $\frac{1}{nk-1}$.

فقيمة Sin nu المحتملة، بالنسبة إلى عدد كبير n تساوي صفراً. وقد احتجت لتحديد تلك القيمة إلى اصطلاح، ولكن النتيجة تبقى من دون تغيير، مهما كان ذلك الاصطلاح. ولم ألتزم فيه إلا ببعض التضييقات الضئيلة بافتراض أن الدّالة $\varphi(a)$ دالة متصلة ودورية. وهما فرضيتان غاية في البداهة، إلى درجة أننا نتساءل كيف يمكن التملص منهما.

أبان لنا استقصاء الأمثلة الثلاثة السابقة ـ وهي أمثلة على غاية من التباين من كل الوجوه ـ دور ما يسميه الفلاسفة بالعلة الكافية من ناحية، كما أبان لنا ـ من ناحية أخرى ـ أهمية أن تكون بعض الخاصيات مشتركة بين جميع الدالات المتصلة. وسيفضي بنا درس الاحتمال في العلوم الفيزيائية إلى النتيجة ذاتها.

٣ ـ **الاحتمال في العلوم الفيزيائية** ـ لنصل الآن إلى المشاكل المتعلقة بما سبق أن سميته بالدرجة الثانية من الجهل، وهي مشاكل نعرف فيها القانون ولكننا نجهل حالة الكيان الابتدائية. ولئن كان بإمكاني أن أعدّد الأمثلة فإني سأكتفي بواحد منها فقط

وهو الآتي: ما هو التوزع الحالي المحتمل للكواكب في منطقة البروج؟

[٢٠٢] نعلم أن الكواكب تخضع لقانون كبلر (Kepler)، ويمكننا أيضاً ـ من دون تغيير أدنى شيء في طبيعة المشكل ـ أن نفترض أن كل مساراتها مستديرة، وواقعة في مستو واحد معروف لدينا. وفي مقابل ذلك نحن نجهل تماماً كيف كان توزعها الابتدائي، ومع ذلك فإننا لا نتردد اليوم في تأكيد أن ذلك التوزع كان ـ على وجه التقريب ـ متشاكلاً. لماذا؟

ليكن b خط طول كوكب صغير في الحقبة الابتدائية أي الحقبة الصفر، وليكن a متوسط حركته، فسيكون في الحقبة الراهنة أي الحقبة t خط طوله $at + b$. وقولنا إن التوزع الحالي منتظم، هو كقولنا إن القيمة المتوسطة لجيوب وجيوب التمام لمضاعفات $at + b$ تساوي صفراً. فلماذا نؤكد ذلك؟

لنرمز لكل كوكب بنقطة من المستوي أي نقطة تكون إحداثياتها تدقيقاً a وb فستكون جميع تلك النقاط الممثلة واقعة في جهة ما من المستوي. واعتباراً إلى كثرة النقاط فستبدو تلك الجهة وكأنما هي مغروزة بها، فضلاً عن أننا لا نعرف شيئاً عن توزعها.

فماذا نفعل عندما نريد تطبيق حساب الاحتمالات على مسألة مثل هذه؟ وما هو احتمال وجود نقطة أو عدة نقاط ممثلة في الجهة كذا من المستوي؟ سنقتصر ـ بحكم جهلنا ـ على وضع فرضية تحكمية. وليؤذن لي في استعمال صورة خشنة لكنها محسوسة بدلاً من الصيغة الرياضية، لتفسير طبيعة تلك الفرضية. لنتخيل أننا نشرنا على مساحة المستوي مادة توهمية متغيّرة الكثافة ولكن بشكل متصل. وعندها نصطلح على القول إن العدد الكلي من النقاط الممثلة الموجودة في جزء من المستوي تتناسب مع كم

المادة التوهمية الموجودة فيه. وعندئذ إذا أخذنا جهتين من المستوي مساحتاهما متساويتان، كانت احتمالات وجود نقطة ممثلة لواحدة
[٢٠٣] من كواكبنا الصغيرة في هذه الجهة أو تلك في ما بينها كما تكون في ما بينها الكثافات المتوسطة للمادة التوهمية في هذه الجهة أو تلك.

هذان إذًا توزيعان: أحدهما حقيقي تكون فيه النقاط الممثلة غاية في الكثرة والتراصّ، ولكنها منفصلة مثل جزيئات المادة في الفرضية الذرية، والآخر بعيد عن الحقيقة، استبدلت فيه النقاط الممثلة بمادة توهمية متصلة. ونحن نعلم أن هذه الفرضية الثانية لا يمكنها أن تكون حقيقية، ولكنّ جهلنا يكرهنا على الأخذ بها.

ولو كنا نملك فكرة أخرى عن التوزع الحقيقي للنقاط الممثلة لكنا تدبرنا الأمر على نحو تَكون به كثافة تلك المادة التوهمية المتصلة، في جهة ذات اتساع ما، كثافة تتناسب تقريبياً مع عدد النقاط الممثلة أو قل إن شئت مع الذرات التي تحتوي عليها تلك الجهة. ولكن حتى هذا محال. وقد بلغ جهلنا مبلغاً بعيداً جعلنا نكره على اختيار الدّالة التي تعرّف كثافة مادتنا التوهمية اختياراً تحكّمياً، وسنجد أنفسنا مقصورين على فرضية واحدة لا ثانية لها، ولا مفر منها فنضع أن تلك الدالة متصلة، وهو ما يكفي ـ كما سنرى ـ للخروج بنتيجة ما.

فما هو التوزع المحتمل للكواكب الصغيرة في الآن t؟ أو قل ما هي القيمة المحتملة لجيب خط الطول في الآن t أي قيمة $\text{Sin}\ (at + b)$؟ كنا في البداية وضعنا اصطلاحاً تحكمياً. ولكن إذا أخذنا به كانت تلك القيمة محددة تماماً. فلنقسم المستوي إلى مساحات أوّلية، ولنعتبر قيمة $\text{Sin}\ (at + b)$ في مركز كل مساحة أوّلية، ولنضرب تلك القيمة في المساحة الأوّلية نفسها وفي كثافة المادة التوهمية التي تقابلها.

ولنجمع بعد ذلك كل النتائج بالنسبة لكامل المستوي. سيكون هذا المجموع ـ بحكم التعريف ـ القيمة الوسطى المحتملة المطلوبة وسيُعبّر عنه ـ على هذا النحو ـ بدالة تكاملية مزدوجة.

[٢٠٤] وقد يذهب بنا الظن بادئ الأمر، إلى أن تلك القيمة الوسطى مرتبطة باختيار الدالة φ التي تحدد كثافة المادة التوهمية، وإلى أنه بإمكاننا ـ نظراً إلى تحكمية الدالة φ ـ أن نحصل ـ تبعاً للاختيار التحكمي الذي سنقوم به ـ على أيّة قيمة وسطى. ولكن الأمر ليس على ما نظن أصلاً.

يكشف لنا حساب بسيط نجريه، أن دالتنا المزدوجة تتناقص بغاية السرعة عندما تتزايد t. .

وعلى هذا النحو فإني لم أكن أعلم أي الفرضيات أختار بشأن احتمال هذا التوزع أو ذاك ابتدائياً، غير أنه مهما كانت الفرضية التي أضعها فإن النتيجة تبقى واحدة وهو ما يخلصني من الحيرة.

ومهما كانت الدالة φ، فإن القيمة الوسطى تؤول إلى الصفر عندما تتزايد t. ولما كانت الكواكب الصغيرة قد قامت ولا ريب بعدد كبير جدّاً من الدورات، كان باستطاعتي أن أؤكد أن تلك القيمة الوسطى ضئيلة جدّاً.

ولي أن اختار φ كما أريد باستثناء شرط قسري واحد وهو أن تكون تلك الدالة متصلة، ذلك أن اختيار دالة منفصلة كان بالفعل سيبدو اختياراً غير حكيم. فأي سبب أستطيع أن أتذرع به لأفترض مثلاً أنّ خط الطّول الابتدائي يمكن أن يقع في الدرجة الصفر بالضبط، وليس بين الدرجة بين ٠° و١°؟

غير أن الإشكال يظهر من جديد، إذا ما نظرنا إليه من زاوية الاحتمال الموضوعي، أي إذا انتقلنا من التوزيع الخيالي حيث كنا

افترضنا أن المادة المتوهمة متّصلة، إلى التوزيع الحقيقي حيث تشكل النقاط الممثّلة ما يشبه الذرات المنفصلة. سنرمز ببساطة إلى قيمة $\sin(at + b)$ الوسطى بما يلي:

$$.\frac{1}{n}\sum \sin(at + b)$$

علماً بأن n يمثّل عدد الكواكب الصغرى. وهكذا نحصل على مجموع من الحدود المنفصلة بدل الدالة التكاملية المزدوجة
المتعلقة بدالة متصلة. ومع ذلك، فما من أحد يشك جدياً في أن [٢٠٥]
تلك القيمة الوسطى ليست بالفعل صغيرة جداً.

ذلك أنه اعتباراً لشدة تراص النقاط التمثيلية، كان المجموع المنفصل مختلفاً اختلافاً يسيراً جداً عن التكامل.

فالتكامل هو الحد الذي يؤول إليه مجموع الحدود عندما يتزايد عددها بلا نهاية. فإذا كان عددها هائلاً، كان المجموع مختلفاً اختلافاً يسيراً عن حدّه أي التكامل. ويبقى ما قلته في التكامل صحيحاً بالنسبة إلى المجموع ذاته.

وثمّة مع ذلك حالات استثنائية. فلو كان لدينا ـ على سبيل المثال ـ ما يلي بالنسبة إلى جميع الكواكب الصغيرة

$$.b = \frac{\pi}{n} - at$$

لكان لجميع الكواكب في الآن t خط طول يساوي $\frac{\pi}{2}$. وعندها تكون القيمة الوسطى تساوي ١ بداهة. وشرط إمكان ذلك أن تكون جميع الكواكب قد وضعت في الحقبة صفر على ضرب من المسار الحلزوني ذي شكل خاص يتركّب من لفات متراصة غاية التراص. ونحن نقدّر جميعاً أن توزعاً ابتدائياً من هذا القبيل ضئيل الاحتمال (وحتى إذا ما افترضنا اكتمال هذا التوزيع، فلن يكون في الحقبة الراهنة مثلاً أول كانون الثاني/ جانفي ١٩٠٠ توزعٍ منتظم. ولربما آل إلى الانتظام بعد بضع سنين).

ولكن لماذا نحكم بأن ذلك الضرب من التوزع الابتدائي غير

محتمل؟ من الضروري تفسير ذلك، لأنه إذا لم يكن لنا من سبب لرفض تلك الفرضية السخيفة باعتبارها فرضية مستبعدة، فسينهار كل شيء، ولن نقدر على تأكيد أي شيء بخصوص احتمال هذا التوزع الراهن أو ذاك.

ولم يزل ما سنتذرع به هو مبدأ العلة الكافية الذي ينبغي العود إليه باستمرار. ولنا أن نسلم بأن الكواكب كانت منذ البدء موزعة تقريباً على خط مستقيم، ولنا أن نسلم بأنها كانت موزعة [٢٠٦] على غير انتظام. ولكن يبدو أنه ما من سبب كاف، يجعل العلة المجهولة التي أوجدتها تتصرف وفقاً لمنحن غاية في التساوي، ولكنه مع ذلك غاية في التعقيد وقد يبدو لنا أن ذلك المنحني قد اختير عمداً حتى لا يكون التوزع الحالي متشاكلاً.

٤ ـ **أحمر وأسود** ـ إن المسائل التي تثيرها لعب الصدفة مثل لعبة العجلة تماثل تماماً في الحقيقة المسائل التي كنا بصدد معالجتها.

لنأخذ ـ على سبيل المثال ـ أسطوانة مقسومة إلى عدد كبير من المقاسم المتساوية تكون حمراء وسوداء بالتناوب. لنفترض أن إبرة رميت فيها بقوة ثم وقفت ـ بعد أن قامت بعدد كبير من الدورات ـ أمام مقسم من تلك المقسّمات. فاحتمال أن يكون ذلك المقسّم أحمر هو طبعاً $\frac{1}{2}$.

ستدور الإبرة قدر زاوية θ تحتوي على عدة محيطات. وأنا أجهل ما هو احتمال أن ترمى الإبرة بقوة ما من شأنها أن تجعل تلك الزاوية واقعة بين θو$\theta + d\theta$. ولكني أستطيع أن أضع اصطلاحاً أفترض بمقتضاه أن ذلك الاحتمال هو$\varphi(\theta)d\theta$. أما في ما يتعلق بالدالة $\varphi(\theta)$، فيمكنني أن أختارها اختياراً تحكمياً صرفاً، وليس ثمّة ما يوجهني في اختياري. ومع ذلك فإني أنساق طبيعياً إلى افتراض أن تلك الدالة متصلة.

ليكن ε طول كل مقسم من المقاسم الحمراء أو السوداء (يؤخذ ε على محيط شعاعه ١).

ينبغي أن نحسب تكامل الدالة $\varphi(\theta)d\,\theta$. مع مدّها من ناحية إلى جميع المقاسم الحمراء، ومن ناحية أخرى إلى جميع المقاسم السوداء، وأن نقارن النتائج.

لنأخذ مجالاً ٢ε يضم مقسمين متتاليين، أحمر وأسود. ولتكن M القيمة الكبرى وm القيمة الصغرى للدالة $\varphi(\theta)$ داخل
[٢٠٧] ذلك المجال. فالتكامل الممدود إلى المقاسم الحمراء سيكون أصغر من $\sum M\varepsilon$. والتكامل الممدود إلى المقاسم السوداء سيكون أكبر من $\sum m\varepsilon$. وسيكون الفرق إذًا أصغر من $\sum(\mathrm{M}-m)\varepsilon$. أما إذا اعتبرت الدالة φ دالة متصلة واعتبر المجال ε من ناحية أخرى صغيراً جداً بالمقارنة مع كامل الزاوية التي قطعتها الإبرة فإن الفرق $\mathrm{M}-m$ سيكون صغيراً جداً. وعندها سيكون فرق التكاملين صغيراً جداً وسيكون الاحتمال أقرب ما يكون من $\frac{1}{2}$.

وبذلك ندرك لم كان عليّ أن أتصرف من دون معرفة أي شيء عن الدالة φ وكأن الاحتمال يساوي $\frac{1}{2}$.

ويصبح من المفهوم لدينا ـ من ناحية أخرى ـ لماذا سألاحظ من وجهة نظر موضوعية، تعادلاً تقريبياً بين الإصابات السوداء والإصابات الحمراء، بعد معاينة عدد محدّد من الضربات.

ويعرف جميع اللاعبين هذا القانون الموضوعي، ولكنه يجرهم إلى خطأ غريب، يتفطنون إليه أحياناً، ويقعون فيه مجدداً على الدوام. فإذا ما كان الدور للأحمر مثلاً لست مرات متتالية، راهنوا على الأسود ظانّين أنهم سيصيبون لا محالة، بتعلة أنه من النادر حقاً، أن يكون الدور للأحمر لسبع مرات متتالية.

وفي واقع الأمر يبقى احتمال أن يربحوا $\frac{1}{2}$. صحيح أن الملاحظة تبيّن أن سلسلة من سبع دورات حمراء نادرة جدّاً. لكن سلسلة من ستّ دورات حمراء مشفوعة بدورة سوداء، هي من أندر ما يكون. وقد تفطنوا إلى ندرة سلسلة من سبع دورات حمراء. ولئن هم لم يتفطنوا إلى ندرة سلسلة من ست دورات حمراء مشفوعة بدورة سوداء، فلأن مثل تلك السلاسل أقل لفتاً للانتباه.

٥ ـ **احتمال العلل** ـ أصل إلى مشاكل احتمال العلل، وهي الأهم من حيث التطبيقات العلمية. لنأخذ مثلاً نجمين متقاربين جدّاً على الكرة السماوية. فهل هذا التقارب الظاهر مجرد أثر من [٢٠٨]
آثار الصدفة؟ وهل هذان النجمان موجودان على مسافتين مختلفتين جداً من الأرض وهل هما ـ تبعاً لذلك ـ متباعدان الواحد منهما عن الآخر، رغم وقوعهما على شعاع بصري واحد تقريباً؟ أم أن تقاربهما يطابق تقارباً حقيقياً؟ ذلك مشكل من مشاكل احتمال العلل؟

أذكّر ـ بادئ ذي بدء ـ بأنه كان علينا باستمرار أن نضع ـ في بداية كل مشكل من مشاكل احتمال النتائج التي عنينا بها حتى الآن ـ اصطلاحاً شبه مبرّر. ولئن كانت النتيجة ـ في أغلب الأحيان ـ شبه مستقلة عن ذلك الاصطلاح، فإنما يعزى ذلك إلى أن بعض الفرضيات كانت تسمح لنا بأن نستبعد قَبْلياً الدّالات المنفصلة مثلاً، أو ضروباً من الاصطلاحات السّخيفة.

ونحن نجد شيئاً من ذلك القبيل عند الاهتمام باحتمال العلل حيث يمكن لنتيجة ما، أن تكون لازمة عن العلة A أو العلة B. ولنفترض أننا عاينّا النتيجة والمطلوب الآن هو احتمال كونها لازمة عن العلة A. وذلك هو احتمال العلة بعدياً .غير أني لن أستطيع حساب ذلك الاحتمال ما لم يمكّنني سلفاً اصطلاح شبه

مبرر من أن أعلم **قَبْلياً** احتمال شروع العلة A في العمل، وأعني به احتمال ذلك الحدث بالنسبة إلى من لم يلاحظ النتيجة بعد.

وسعياً مني إلى مزيد الوضوح، أعود إلى مثال لعبة التبعيدة الذي كنت سقته سابقاً. فخصمي يوزع الأوراق للمرة الأولى ويقلب ورقة الملك. فما هو احتمال أن يكون خصمي محتالاً؟ تعطى الصيغ التي دأبنا على تدريسها $\frac{8}{9}$ وهي بالطبع نتيجة مفاجئة بحق! إذ إنه إذا ما تأملنا تلك الاحتمالات جيداً لوجدنا أنني أجريت الحساب، وكأنني اعتبرت ـ **قبل الجلوس إلى طاولة اللعب** ـ أنه يوجد احتمال على اثنين أن لا يكون خصمي إنساناً مستقيماً. وتلك فرضية غير معقولة، لأنه كان عليّ ـ في تلك الحالة ـ أن لا ألعب معه، وهو ما يفسّر لامعقولية النتيجة. [٢٠٩]

لقد كان الاصطلاح المتعلق بالاحتمال **القبلي** اصطلاحاً لا مبرّر له، ولذلك أدّى بي حساب الاحتمال البعدي إلى نتيجة لا تقبل. وهكذا ندرك أهمية الاصطلاح المسبق بل أضيف أنه لن يكون لمشكل الاحتمال **البعدي** أيّ معنى إذا لم نضع أيّ اصطلاح، بل يقتضي الأمر ذلك سواء على جهة التصريح أو على جهة التضمين.

ولننتقل الآن إلى مثال ألصق بالعلم. ولنضع أنّي أريد تحديد قانون تجريبي وأنّ هذا القانون يمثل له ـ عندما يعرف ـ بمنحن. أجري لذلك عدداً ما من الملاحظات المنفصلة، يمثل لكل واحدة منها بنقطة. وأرسم ـ عند الحصول على هذه النقاط المختلفة ـ منحنياً يمر بها، وأجتهد في أن لا أبتعد عن النقاط إلا بأقل ما يمكن، كما أجتهد ـ رغم ذلك ـ في أن أترك للمنحني شكلاً منتظماً لا تكون فيه نقاط ناتئة، ولا انعطافات شديدة البروز، ولا تباينات مفاجئة تطرأ على شعاع الانحناء. سيمثل هذا المنحني عندي القانون المحتمل. وأسلم بأنه سيتيح لي لا معرفة قيم الدالة ما بين

القيم التي وقعت ملاحظتها فقط، بل إنه سيتيح لي كذلك معرفة القيم الملاحظة ذاتها معرفة أدقّ من المعرفة التي تمدّني بها الملاحظة المباشرة. (ولأمر كهذا أجعل المنحني يمرّ قرب النقاط التي بين يديّ بدل أن يمرّ منها هي بذاتها).

ذلك هو مشكل احتمال العلل. فالنتائج هي القياسات التي سجّلتها، وهي تابعة لتوافق علتين، هما قانون الظواهر الحقيقي، وأخطاء الملاحظة. والمطلوب هو البحث ـ انطلاقاً من معرفة الظواهر ـ عن احتمال أن تخضع الظاهرة للقانون كذا وأن تتأثر الملاحظات التي أجريت بالخطأ كذا. وعندها يكون القانون الأكثر احتمالاً هو الذي يطابق المنحني المرسوم، في حين يمثّلُ للخطأ الأكثر احتمالاً في الملاحظة، بمدى بعد النقطة التي تقابلها عن ذلك المنحني.

غير أنه لن يكون لهذا المشكل أي معنى إذا لم تكن لي ـ [٢١٠]
قبل أية ملاحظة ـ فكرة قَبْلية عن احتمال هذا القانون أو ذاك، وعن احتمالات الخطأ الذي قد أكون عرضةً له.

وإذا كانت أدواتي جيدة (وأنا على علم بذلك قبل بدء الملاحظة) فلن أترك المنحني ينزاح كثيراً عن النقاط التي تمثل القياسات الخام. أما إذا كانت أدواتي خشنة فإني قد أبتعد أكثر بقليل عن تلك النقاط، لأحصل على منحن أقلّ التواءً، فأضحّي أكثر من أجل الانتظام.

فلماذا إذاً أتكلف رسم منحن أقل التواءً؟ لأني أعتبر قبلياً أن القانون الذي تمثله دالة متّصلة (أو دالة صغيرة المشتقات من الرتبة العالية) هو أكثر احتمالاً من القانون الذي لا يستجيب لتلك الشروط. ولن يكون ـ في غياب ذلك الاعتقاد ـ للمشكل الذي نتحدث عنه أي معنى، وسيكون الاستكمال مستحيلاً ولن نستطيع استنباط قانون ما استناداً إلى عدد محدود من الملاحظات، ومعناه أنه لن يوجد العلم.

كان الفيزيائيون منذ خمسين سنة خلت يعتبرون أن القانون البسيط ـ عند استواء كل المعطيات ـ أكثر احتمالاً من القانون المعقد، بل إنهم كانوا يحتجون بهذا المبدأ لتغليب قانون ماريوت (Mariotte) على تجارب رينو (Regnault)، إلاّ أنهم تخلوا اليوم عن ذلك الاعتقاد. ولكن ما أكثر ما يجدون أنفسهم مكرهين على أن يتصرّفوا، وكأنّهم لم يتخلّوا عنه. وكيفما كان الأمر، فإن ما بقي من ذلك المنزع، إنما هو اعتقاد التواصل. وقد كنا رأينا أنه إذا ما تلاشى ذلك الاعتقاد بدوره، أصبح العلم التجريبي مستحيلاً.

٦ ـ **نظرية الأخطاء** ـ يؤول بنا الأمر ـ على هذا النحو ـ إلى الحديث في نظرية الأخطاء المرتبطة مباشرة بمشاكل احتمال العلل. نعاين هاهنا أيضا نتائج، أيْ عدداً ما من الملاحظات المتنافرة، ثم نبحث عن **العلل** وهي ـ من ناحية ـ القيمة الحقيقية للكم المطلوب قيسه، ومن ناحية أخرى، الخطأ الحاصل في كل ملاحظة على حدة. ويوجب الأمر حساب ما يمكن أن يكون ـ **بَعْدِياً** ـ المقدار المحتمل لكل خطأ، وبالتالي حساب القيمة المحتملة للكم الذي يتعين قيسه. [٢١١]

غير أننا لن نستطيع ـ كما شرحت ذلك ـ مباشرة هذا الحساب إذا لم نسلّم **قَبْلياً** أي قبل أية ملاحظة، بقانون احتمال الخطأ. وهل للأخطاء قانون؟

إن قانون الأخطاء الذي يسلم به كل أهل الحساب هو قانون غوس (Gauss) الذي يمثَّل له بضرب من المنحني المتسامي المعروف باسم «المنحني الناقوسي الشكل».

غير أنه يجدر التذكير بادئ الأمر بالتفريق الكلاسيكي بين الأخطاء النظامية والأخطاء العرضية. فإذا ما قسنا امتداداً ما بمتر زائد الطول فسنجد دائماً عدداً ضئيلاً جدّاً. ولن تجدي البتة إعادة

القيس مراراً عديدة وذلك هو الخطأ النظامي. وإذا قسناه بمتر دقيق كان من الممكن ـ مع ذلك ـ أن نقع في الخطأ. ولكننا سنخطو تارة في اتجاه الزيادة وتارة في اتجاه النقص. وعندما نحسب معدل عدد كبير من القياسات يميل الخطأ إلى الانخفاض. وتلك هي الأخطاء العرضية.

ومن البديهي ـ بادئ ذي بدء ـ أن الأخطاء النظامية لا يمكنها أن تستجيب لمقتضيات قانون غوس (Gauss). فهل تستجيب له الأخطاء العرضية؟ لقد جرّبت براهين عديدة فإذا هي أقرب ما تكون إلى المغالطات الفجّة. ومع ذلك فإنه يمكن البرهنة على قانون غوس (Gauss) انطلاقاً من الفرضيات التالية وهي أن كل خطأ نقع فيه هو محصّلة لعدد كبير جداً من الأخطاء الجزئية المستقلة، وأن كلّ خطأ من تلك الأخطاء صغير جدّاً، فضلاً عن خضوعه لقانون ما من قوانين الاحتمال، باستثناء أن احتمال الخطأ الموجب هو الاحتمال ذاته لخطأ مساو له ذي علامة مضادة. ومن البديهي أن تلك الشروط تتوفّر في أغلب الأحيان، ولكنها لا تتوفر باستمرار، فنخص الأخطاء الخاضعة لتلك الشروط بصفة العرضية.

[٢١٢] والرأي عندنا أن منهج أصغر المربعات ليس منهجاً مشروعاً في جميع الحالات. فعلماء الفيزياء عامة يتحاشونه أكثر مما يتحاشاه علماء الفلك. ويعزى السبب في ذلك ـ على الأرجح ـ إلى أنه على الفلكيين أن يواجهوا ـ إضافة إلى الأخطاء النظامية التي تعترضهم مثلما تعترض الفيزيائيين ـ مصدراً آخر من مصادر الخطأ على غاية من الأهمية وهو عرضي بحت وأعني به التموجات الجوية. لذلك كان مما يثير الكثير من الفضول سماع حوار بين فيزيائي وفلكي يدور على معنى منهج الملاحظة. فالفيزيائي يعنى قبل كل شيء بإزالة ما تبقى من الأخطاء النظامية وذلك بالإكثار من الاحتياطات، وهو مقتنع بأن عملية قيس جيدة واحدة أفضل من

عمليات كثيرة رديئة، فيجيبه الفلكي قائلاً: «إنك لن تستطيع ـ على هذا النحو ـ أن تلاحظ إلا عدداً ضئيلاً من النجوم، وبالتالي فلن تزول الأخطاء العرضية».

ماذا علينا أن نستنتج من ذلك؟ هل ينبغي مواصلة تطبيق منهج أصغر المربعات؟ علينا القيام بالتمييز التالي. لقد أزلنا جميع الأخطاء النظامية التي ساورنا بشأنها شك علماً بأن أخطاء غيرها لم تزل موجودة ولكننا لم نستطع اكتشافها. وعلينا ـ على الرغم من ذلك ـ أن نتخذ قراراً فنعتمد قيمة نهائية تؤخذ مأخذ القيمة المحتملة. ولبلوغ ذلك، كان من البديهي أن أفضل ما يمكننا فعله هو أن نطبق منهج غوس (Gauss) فلا نذهب في ذلك إلى أبعد من تطبيق قاعدة عملية تتصل بالاحتمال الذاتي وليس في ذلك ما يعاب.

غير أن إرادتنا تعلقت بأن نتوغل أكثر في تلك المسألة فلا نكتفي بتأكيد أن القيمة المحتملة مقدارها كذا بل نؤكد أيضاً أن الخطأ الذي ارتكبناه في النتيجة خطأ مقداره كذا **وهو أمر غير مشروع على الإطلاق** لأنه لن يكون صحيحاً إلاّ إذا كنا على يقين من أن جميع الأخطاء النظامية قد أزيلت، والحال أننا لا نعلم شيئاً عن ذلك أصلاً. هب أنّ لدينا مجموعتين من الملاحظات. فعندما نطبق منهج أصغر المربعات، نجد أن الخطأ المحتمل في المجموعة الأولى أقل مرتين من الخطأ المحتمل في الثانية. إلاّ أن المجموعة الثانية قد تكون
[٢١٣] أفضل من الأولى التي قد تكون تأثرت بخطأ نظامي فجّ. فقصارى ما يمكن قوله هو أن المجموعة الأولى أفضل احتمالياً من الثانية، لأن الخطأ العرضي فيها أقل ولأنه ما من سبب يخوّلنا إثبات أن الخطأ النظامي في هذه السلسلة أكبر مما هو في تلك. فجهلنا ها هنا جهل مطلق.

٧ ـ **خلاصات** ـ طرحت في السطور السابقة الكثير من

المشاكل من دون أن أحل أيّاً منها، ومع ذلك لست آسفاً على كتابتها فعساها تحمل القارئ على تأمل تلك المسائل الحساسة.

ومهما يكن من أمر، فإنه يبدو أن بعض الجوانب قد اتضحت، منها أن مباشرة أي ضرب من ضروب حساب الاحتمال توجب ـ ليكون لذلك الحساب معنى أصلاً ـ التسليم بفرضية أو اصطلاح يُؤخذ منطلقاً، ويلتئم باستمرار على درجة من درجات التحكمية. وليس من هاد لنا في اختيار ذلك الاصطلاح إلاّ مبدأ العلة الكافية. ومما يدعو إلى الأسف أن ذلك المبدأ شديد الضبابية، كثير التمطط. وقد كنا رأينا كيف أخذ في التحليل السريع الذي كنا بصدده، عديد الأشكال المتنوعة. والشكل الذي ألفيناه عليه في أغلب الأحيان إنما كان شكل الاعتقاد في الاتصال وهو اعتقاد يستعصي على التبرير بتوسط الاستدلال الضروري. ولكن العلم يصبح ـ من دون ذلك المبدأ ـ أمراً محالاً. وأخيراً، إنّ المسائل التي يمكن تطبيق حساب الاحتمالات فيها تطبيقاً مجدياً هي تلك التي تكون فيها النتيجة مستقلة عن الفرضية الموضوعة في البداية، على أن تستجيب تلك الفرضية لشرط التواصل دون سواه.

الفصل الثاني عشر

البصريات والكهرباء

نظرية فرزنيل ـ أفضل ما يمكن أن يختار من الأمثلة[1] [٢١٥]
نظرية الضوء وعلاقتها بنظرية الكهرباء، فالبصريات هي أكثر أجزاء الفيزياء تبلوراً بفضل أعمال فرزنيل (Fresnel). وقد شكلت النظرية الموسومة بنظرية التموجات معماراً يشفي غليل الفكر حقاً، وأن ليس لنا أن نطلب إليها ما لا يمكنها أن تمنح.

فليست غاية النظريات الرياضية أن تكشف لنا عن طبيعة الأشياء بالحقيقة فتلك دعوى غير حكيمة، بل إن غايتها الوحيدة تنسيق القوانين الفيزيائية التي تعرفنا بها التجربة، ولكنها قوانين لن نقدر حتى على صياغتها من دون الاستعانة بالرياضيات.

وليس المهم أن يوجد الأثير وجوداً فعلياً إذ تلك مسألة يعنى بها الميتافيزيقيون، بل المهم عندنا أن تجري الأمور وكأنما هو موجود، وأن تكون تلك الفرضية ملائمة لتفسير الظواهر. وهل في آخر التحليل من سبب يدعو إلى الاعتقاد بوجود الموضوعات المادية؟ إذ لا يدور الأمر ها هنا أيضاً إلا على فرضية ملائمة. وهي

---

(١) يمثل هذا الفصل إعادة جزئية لافتتاحيتي مؤلفين من مؤلفاتي وهما:

Henri Poincaré: *Théorie mathématique de la lumière* (Paris: Naud, 1889), et *Electricité et optique*, 2ème éd. (Paris: G. Carré; C. Naud, 1901).

ستبقى ملائمة على الدوام، بينما الأرجح أن يأتي يوم، يهمل فيه الأثير إهمال ما لا يحتاج إليه.

غير أن قوانين البصريات والمعادلات التي تعبر عنها تحليلياً
[٢١٦] تظل حتى في ذلك اليوم صحيحة، على الأقل من حيث هي مقاربة أوّلية. لذلك كان درس تلك النظرية التي شدت جميع تلك المعادلات بعضها إلى بعض مما يحتاج إليه على الدوام.

وتستند نظرية التموّجات هذه، إلى فرضية جُزيئية هي مزية عند طائفة ذهبت إلى أنها فرضية تكشف عن العلة طيّ القانون، في حين ترى فيها طائفة أخرى سبباً يدعو إلى الارتياب، ولكنه ارتياب ليس أقلّ تسويغاً في نظري من أوهام الطائفة الأولى.

فتلك فرضيات لا تلعب إلا دوراً ثانوياً، ثم إن التضحية بها واردة. ولئن لم نفعل ذلك عادة فلسبب وحيد وهو أن العرض يصبح أقل وضوحاً.

وفعلاً إذا ما تأملنا الأمر جيداً، أدركنا أننا لا نطلب إلى الفرضيات الجزيئية إلا أمرين هما مبدأ بقاء الطاقة والشكل الخطي للمعادلات الذي يمثل القانون العام للحركات الصغرى مثلما هو قانون جميع التباينات الصغرى.

وذلك ما يفسر سبب بقاء جل استنتاجات فرزنيل (Fresnel) من دون تغيير حين نتبّنى النظرية الكهرومغناطيسية في الضوء.

نظرية ماكسويل ـ معلوم عندنا أن ماكسويل (Maxwell) هو الذي جمع برباط وثيق قسمين من الفيزياء، ظل كل واحد منهما حتى اليوم غريباً عن الآخر، وهما البصريات والكهرباء. وما فتئت بصريات فرزنيل (Fresnel) تنبض بالحياة بفضل تنزلها على ذلك النحو، في مجموعة أشمل وتناسق أرقى. فلم تزل مختلف أجزائها صامدة، ولم تزل مختلف العلاقات المتبادلة بينها على ما كانت عليه، باستثناء تغيير اللغة التي أصبحنا نستخدمها للتعبير عنها من

ناحية أولى. ثم إن ماكسويل كشف لنا ـ من ناحية ثانية ـ عن علاقات جديدة ـ ما كانت حتى اليوم لتخطر على بالنا ـ بين مختلف أجزاء البصريات والكهرباء.

فعندما يفتح فرنسي كتاب ماكسويل (Maxwell) أول مرة يعتريه إحساسٌ بالضيق، ولربما شاب أحياناً إعجابه به إحساس بالارتياب فيه بادئ الأمر، وهو إحساس لا يتبدد إلا بعد أن تطول عشرته بالكتاب، فيبذل في فهمه جهداً كبيراً، بل إن [٢١٧]
بعض المفكرين الممتازين لم يتخلصوا من ذلك الإحساس حتى اليوم.

فلماذا تلقى أفكار العالم الانكليزي كل هذا العناء لتتوطن عندنا؟ الأرجح أن السبب في ذلك يعزى إلى أن التربية التي تلقاها جل الفرنسيين المستنيرين تجنح بهم إلى طلب الدقة والمنطق قبل أية خاصية أخرى.

ومن وجهة النظر هذه، كانت نظريات الفيزياء الرياضية القديمة ترضينا كل الرضى. وقد عمل جميع أساتذتنا من لابلاس (Laplace) حتى كوشي (Cauchy) بطريقة واحدة. فهم ينطلقون من فرضيات خدمت خدمة واضحة، ليستنبطوا منها جميع النتائج بصرامة رياضية، ثم إنهم يضعونها ـ في ما بعد ـ على محك التجربة، فكأنما هم أرادوا أن يضفوا على كل فرع من فروع الفيزياء الدقةَ ذاتها التي كانوا أضفوها على الميكانيكا السماوية.

والفكر الذي دأب على إكبار مثل تلك النماذج لا ترضيه نظرية ما إلا بصعوبة. فهو لا يقف عند عدم التسامح مع أدنى مظهر من مظاهر التناقض فحسب، بل يطالب أيضاً بأن تكون مختلف أجزاء النظرية مشدودة إلى بعضها شداً منطقياً، وأن يختزل فيها عدد الفرضيات المتمايزة إلى أقل ما يمكن.

وهو فكر لا يقف عند المطالبة بذلك وحده، بل إن له

مطالب أخرى تبدو لي أقل رصانة. فهو يطمح إلى أن يرى خلف المادة التي تبلغها حواسنا، وتكشف لنا عنها التجربة، مادةً أخرى هي عنده المادة الحقيقية الوحيدة لا كيفيات لها إلاّ الكيفيات الهندسية الصرف، وما ذراتها إلا نقاط هندسية خاضعة لقوانين الديناميكا وحدها. ثم إنه يسعى - رغم ذلك - إلى أن يتصور - في تناقض لا يعيه - تلك الذرات اللامرئية التي لا لون لها، وأن يجعلها أقرب ما تكون إلى المادة الخشنة.

وعندها فقط يتهيأ له أن يبلغ تمام الرضى، ويتخيل أنه غاص في سر الكون. وليس أعسر من التخلّي عن ذلك الرضى، رغم أنه ليس إلاّ رضى خادعاً.

[٢١٨] وهكذا كان الفرنسي الذي يفتح كتاب ماكسويل (Maxwell) يتوقع أن يجد فيه بنية نظرية لا تقل منطقاً ودقّة عن البصريات الفيزيائية المؤسسة على فرضية الأثير، فإذا هو يهيئ نفسه لشعور بالخيبة أوّد أن أجنبه القارئ بلفت انتباهه إلى ما ينبغي البحث عنه في كتاب ماكسويل (Maxwell) وإلى ما لن يتأتى له العثور عليه فيه.

فماكسويل (Maxwell) لا يقدم تفسيراً ميكانيكياً للكهرباء والمغناطيس، وهو يكتفي بالبرهنة على أن ذلك التفسير ممكن.

وهو يبيّن كذلك أن الظواهر البصرية ليست إلا حالة خاصة من الظواهر الكهرومغناطيسية، وأنه كان لنا بالتالي أن نستنبطها مباشرة من أي نظرية في الضوء.

وليس العكس صحيحاً مع الأسف، حيث لا يكون من الهيّن علينا دائماً استنباط تفسير متكامل للظواهر الكهربائية من نظرية متكاملة في الضوء، وهو أمر ليس باليسير، ولا سيما إذا ما أردنا الانطلاق من نظرية فرزنيل (Fresnel) ولكنه ليس بالأمر المستحيل. غير أن أقّل ما يفضي بنا إليه ذلك، أن نتساءل عمّا إذا لم نجد

أنفسنا مكرهين على التخلي عن النتائج الرائعة التي حسبناها مكاسب نهائية. وفي ذلك على ما يبدو خطوة إلى الوراء يأبى الكثير من المفكرين المبرزين الاستسلام لها.

وإذا ما رضي القارئ بتعديل طموحاته، اصطدم مرة أخرى بمصاعب جديدة، ذلك أن العالم الانكليزي لم يسع إلى بناء عمارة وحيدة نهائية جيدة التنظيم بل يبدو أنه شيد عدداً كبيراً من البنايات الوقتية المستقلة يصعب التواصل بينها، ويكون أحياناً مستحيلاً.

ولنضرب مثلاً على ذلك الفصل الذي يفسر فيه التجاذبات الكهروستاتيكية بضغوطات وتوترات تسيطر على الوسط العازل. وهو فصل يمكن حذفه من دون أن يصبح الكتاب أقل وضوحاً واكتمالاً. ويحتوي هذا الفصل من ناحية أخرى على نظرية قائمة بذاتها بحيث
يمكن أن نفهمها من دون أن نقرأ سطراً واحداً من السطور السابقة [٢١٩]
أو اللاحقة. وليس هذا الفصل مستقلاً عن باقي الكتاب فحسب، بل إنه فصل تصعب ملاءمة ما فيه مع الأفكار الأساسية الواردة في الكتاب. ثم إن ماكسويل (Maxwell) لا يمتحن تلك الملاءمة حتى مجرد الامتحان، بل هو يكتفي بالقول: «لم يكن **باستطاعتي أن أخطو الخطوة الموالية فأفسّر تلك الضغوطات العازلة باعتبارات ميكانيكية**(*)».

وفي هذا المثال ما يكفي ليفهم عني ما ذهبت إليه، وإن كان بمستطاعي أن أسوق أمثلة أخرى كثيرة. فمن سيشك إذاً - وهو يقرأ الصفحات المخصصة للاستقطاب الدوراني المغناطيسي - في وجود تماهٍ بين الظواهر البصرية والظواهر المغناطيسية؟

(*) أورد بوانكاريه عبارة ماكسويل باللغة الأصلية: «I Have not been Able to Make the Next Step, Namely, to Account by Mechanical Considerations for these Stresses in the Dielectric» (المترجم).

وجب إذاً ألا نتباهى بتجنب كل تناقض بل علينا أن نأخذ منه موقفاً. وقد تبيّن أنه يمكن لنظريتين متناقضتين أن تشكلا أداتي بحث نافعتين، ما لم نخلط بينهما، ولم نطلب إليهما معرفة حقيقة الأشياء، ولربما ظلت قراءة ماكسويل (Maxwell) أقل إلهاماً لنا، لو لم يفتح ما فتح من السبل الجديدة المتباينة.

غير أن فكرته الأساسية تكون ـ بهذه الطريقة ـ قد تحجّبت بعض الشيء، بل إنها قد أمعنت في التحجب، ناهيك عن أنها كانت في جل الكتابات التبسيطية المسألة الوحيدة التي همّشت تماماً.

لذلك حسبت أن الواجب يقضي ـ سعياً مني إلى إبراز أهميتها ـ بأن أفسر فيم تتمثل تلك الفكرة الأساسية، وهو ما يتطلب بعض الاستطراد.

في تفسير الظواهر الفيزيائية ميكانيكياً ـ يوجد في كل ظاهرة فيزيائية عدد من الوسائط التي تطولها التجربة مباشرة وهي تتيح لنا قيسها. وسأسميها الوسائط q.

ثم إن التجربة تكشف لنا ـ بعد ذلك ـ عن القوانين التي تحكم تباين تلك الوسائط وهي قوانين يمكن ـ بوجه عام ـ صياغتها في شكل معادلات تفاضلية تربط بين الوسائط q والزمن.

[٢٢٠] فماذا علينا أن نفعل لإضفاء تأويل ميكانيكي على مثل تلك الظاهرة؟

سنحاول تفسيرها إما بحركات المادة العادية وإما بحركات سائل افتراضي أو أكثر وستؤخذ تلك السوائل على أنها مكّونة من عدد كبير من الجزيئات المتصلة m.

وعندئذ، متى نقول إننا نمتلك تفسيراً ميكانيكياً متكاملاً

للظاهرة؟ سيكون لنا ذلك عندما نعرف ـ من ناحية ـ المعادلات التفاضلية التي تخضع لها إحداثيات تلك الجزيئات الافتراضية m، وهي معادلات يفترض فيها أن تتطابق مع مبادئ الديناميكا، وعندما نعرف ـ من ناحية أخرى ـ العلاقات التي تحدد إحداثيات الجزيئات m مرتبطة بالوسائط q التي تطولها التجربة.

ويجب ـ كما قلت ـ أن تكون تلك المعادلات مطابقة لمبادئ الديناميكا، وبالخصوص مبدأ بقاء الطاقة ومبدأ الفعل الأدنى.

ويعلّمنا المبدأ الأول أن الطاقة الكلية ثابتة وأنها تنقسم إلى قسمين:

١ ـ الطاقة الحركية أو القوة الحية التابعة لكتل الجزيئات الافتراضية m ولسرعاتها. وسأسميها T.

٢ ـ الطاقة الكمونية التابعة لإحداثيات تلك الجزيئات وحدها، وسأسميها U. ومجموع هاتين الطاقتين T وU يشكل الثابت.

والآن، ماذا يعلمنا مبدأ الفعل الأدنى؟ إنه يعلمنا أنّ شرط إمكان انتقال كيان ما، من وضع ابتدائي يحتله في الآن t_0 إلى وضع يحتله في الآن t_1 يتطلّب أن يسلك مسلكاً خاصيته أن تكون القيمة المتوسطة «للفعل» (أي قيمة الفرق بين الطاقتين U وT) خلال المجال الزماني المستغرق بين الآنين t_1 وt_0، أصغر ما يمكن أن تكون وجوباً. والحقيقة أن أول المبدأين هو نتيجة للثاني.

[٢٢١] فإذا ما عرفنا الدّالتين T وU ، كان ذلك المبدأ كافياً لتحديد معادلات الحركة.

ومن البديهي أن يوجد ـ بين جميع الطرق التي تتيح الانتقال من وضع إلى آخر ـ طريق تكون القيمة الوسطى بالنسبة إليه أصغر

ما تكون بالمقارنة مع ما تكون عليه بالنسبة إلى جميع الطرق الأخرى. ولا وجود ـ إضافة إلى ذلك ـ إلا لطريق واحد فقط. ويلزم عن ذلك أن مبدأ الفعل الأدنى يكفي لتحديد الطريق المسلوك وبالتالي تحديد معادلات الحركة.

وعلى هذا النحو نحصل على ما يسمّى بمعادلات لاغرانج (Lagrange).

ففي تلك المعادلات، تشكل المتغيرات المستقلة إحداثيات الجزيئات الافتراضية m. ولكني أفترض الآن أننا نأخذ الوسائط q التي تطولها التجربة مباشرة، على أنها متغيّرات.

وعندها وجب التّعبير عن جزأي الطاقة تبعاً للوسائط q ولمشتقاتها، ومن البديهي أن يظهرا للمجرّب على هذا الشكل. ومن الطبيعي أن يسعى المجرب إلى تحديد الطاقة الكمونية والطاقة الحركيّة بواسطة كميات يمكنه ملاحظتهما مباشرة[٢].

وإذا ما وُضع ذلك، انتقل النظام دائماً من وضع إلى آخر سالكاً طريقاً خاصيته أن يجعل متوسط الفعل يكون في أدنى مستواه.

ولا يهم الآن أن يُعبّر عن T و U بواسطة q ومشتقاتها، كما لا يهم في شيء أن نحدد بواسطة تلك الوسائط الوضعيتين الابتدائية والنهائية، فمبدأ الفعل الأدنى يبقى دائماً صحيحاً.

ومن بين جميع الطرق المؤدية من وضع إلى آخر يوجد ها هنا أيضا طريق واحد لا ثاني له يشكل الفعل الأدنى بالنسبة إليه

---

(٢) لنضف أن U لن ترتبط إلا بالوسائط q وحدها وأن T ترتبط بالوسائط q ومشتقاتها بالنسبة إلى الزمن، وأنها ستشكل متعدد حدود متجانساً من الدرجة الثانية بالنسبة إلى تلك المشتقات.

حدوداً صغرى. لذلك كان مبدأ الفعل الأدنى كافياً لتحديد المعادلات التفاضلية التي تحدّد تغيّرات الوسائط q. [٢٢٢]

والمعادلات المتحصّل عليها بهذه الطريقة إنما هي شكل آخر من معادلات لاغرانج (Lagrange).

ونحن لا نحتاج ـ لوضع تلك المعادلات ـ لا إلى معرفة العلاقات التي تربط الوسائط q بإحداثيات الجزيئات الافتراضية أو كتلها، ولا إلى صياغة U تبعاً لإحداثيات تلك الجزيئات، بل إن كل ما نحتاج إليه، إنما هو صياغة U تبعاً للوسائط q ومشتقاتها، وأعني بذلك صيغتي الطاقة الحركية وطاقة الكمون تبعاً للمعطيات التجريبية.

وعندها نكون أمام أحد الأمرين: فإما أن تكون معادلات لاغرانج ـ وقد انبنت كما كنّا نبيّن وبعد اختيار مناسب للدالتين T وU ـ مماثلة للمعادلات التفاضلية المستخرجة من التجربة، وإمّا أن لا توجد دالتان، T وU، يتحقق بهما ذلك التماثل. ومن الواضح في هذه الحالة الأخيرة أنّه لا وجود لتفسير ميكانيكي ممكن.

فالشرط الضروري لوجود تفسير ميكانيكي ممكن هو أن نستطيع اختيار الدّالتين T وU اختياراً يستجيب لمبدأ الفعل الأدنى الذي يجر معه مبدأ بقاء الطاقة.

وهو ـ علاوة على ذلك ـ شرط كاف .فلنفترض بالفعل أننا وجدنا دالة U من الوسطاء q تمثل قسماً من قسمي الطاقة. ولنفترض أنّ جزءاً آخر من الطاقة نمثل له بالحرف T يشكل دالة بالنسبة للوسطاء q ومشتقاتها، وأن هذه الدّالة تشكل متعدد حدود متجانساً من الدّرجة الثانية بالنسبة إلى تلك المشتقات. ولنفترض أخيراً أن معادلات لاغرانج (Lagrange) التي صغناها بواسطة هاتين الدّالتين TوU متطابقة مع معطيات التجربة.

فماذا يجب علينا القيام به لنستنبط من تلك المعطيات تفسيراً ميكانيكياً؟ يجب أن نستطيع اعتبار U طاقة الكيان الكامنة وT قوته* الحيّة.

[٢٢٣] وليس ثمة من إشكال في ما يخصّ U ولكن هل يمكن اعتبار T قوة حيّة لكيان مادي؟

من اليسير لنا بيان أنّ ذلك أمر ممكن دائماً، بل هو ممكن بطرق لا حصر لها. ولمعرفة تفاصيل ذلك، أكتفي بالإحالة على افتتاحية كتابي **الكهرباء والبصريات**.

وهكذا، إذا ما تعذّر تحقيق مبدأ الفعل الأدنى، تعذّر إيجاد تفسير ميكانيكي ممكن. أما إذا استطعنا تحقيقه فلن يكون ثمة تفسير ميكانيكي واحد فحسب، بل تفاسير لا تحصى. ويلزم عن ذلك أنه بمجرد وجود تفسير ميكانيكي واحد توجد تفاسير ميكانيكية لا تحصى.

وأضيف الملاحظة التالية :

نحن نعتبر البعض من الكميات التي تمكننا التجربة من إدراكها مباشرة بمثابة دالات من إحداثيات جزيئاتنا الافتراضية، وتلك هي الكميات التي ستشكل الوسائط q. ونعتبر أن ما بقي ليس تابعاً للإحداثيات وحدها، وإنما أيضاً للسرعات أو قل ـ والأمر واحد ـ إنها تابعة لمشتقات الوسائط q أو هي بمثابة توفيقات لتلك الوسائط ولمشتقاتها.

وعندئذ يطرح السؤال التالي :

أي الكميات ـ من بين جميع تلك التي قيست تجريبياً سنختار لتمثيل الوسائط q؟ وأيها سنفضل أخذه باعتباره يمثل مشتقات تلك الوسائط؟ إنه اختيار يظل تحكمياً إلى حد بعيد، ولكن يكفي أن نستطيع القيام به، على نحو يجعلنا على وفاق مع مبدأ الفعل الأدنى، حتى يكون التفسير الميكانيكي ممكناً.

وهكذا تساءل ماكسويل (Maxwell) عما إذا لم يكن بمستطاعه أن يقوم بذلك الاختيار وأن يختار ـ إضافة إلى ذلك ـ الطاقتين T وU على نحو يجعل الظواهر الكهربائية خاضعة لمبدأ الفعل الأدنى. وقد بيّنت لنا التجربة أنّ طاقة حقل كهربائي مغناطيسي تنقسم إلى جزأين، هما الطاقة الكهروستاتيكية والطاقة الكهروديناميكية. وقد انتبه ماكسويل (Maxwell) إلى أنه إذا ما اعتبرنا أن الأولى تمثل الطاقة الكامنة U والثانية الطاقة الحركية T من ناحية، وإلى أنه إذا ما اعتبرنا من ناحية أخرى أن الشحنات [٢٢٤] الكهروستاتيكية في النواقل التي هي الوسائط q وأن شدّات التيارات مشتقات وسائط أخرى غير الوسائط q، فإن الظواهر الكهربائية تحقق ـ في إطار هذه الشروط ـ مبدأ الفعل الأدنى. وهو ما انتبه إليه ماكسويل (Maxwell) كما قلت، فإذا هو على يقين من إمكان وجود تفسير ميكانيكي (للظواهر الكهربائية).

فلو أنّه عرض هذه الفكرة في أوّل كتابه بدل إرجائها إلى موضع خفيّ من المجلّد الثاني لما غابت عن جلّ القرّاء.

فإذا تقبلت ظاهرة ما، تفسيراً ميكانيكياً كاملاً واحداً، تقبلت كذلك ما لا يحصى من التفاسير الميكانيكة الملمة بكل الخصائص التي تكشف عنها التجربة.

وهو أمر يؤكده تاريخ جميع فروع الفيزياء. ففي البصريات مثلاً أخذ فرزنيل (Fresnel) الاهتزاز على أنه عمودي بالنسبة إلى مستوي الاستقطاب، في حين أخذه نيومان (Newmann) على أنه موازٍ له. وكان البحث طويلاً عن «تجربة حاسمة» (Experimentum Crucis)[٣]، تمكن من الفصل بين هاتين النظريتين فما أمكن العثور عليها.

---

(٣) وردت العبارة باللاتينية في النص الأصلي (المترجم).

ونستطيع كذلك أن نسجل ـ من دون الخروج من مجال الكهرباء ـ أنّ نظرية السائليْن ونظرية السائل الوحيد، تفسر كلٌّ منهما جميع القوانين القائمة في الكهروستاتيكا تفسيراً مُرضياً.

فمن اليسير فهم تلك الظواهر، بفضل خصائص معادلات لاغرانج (Lagrange) التي ذكّرت بها منذ حين.

ومن اليسير أن ندرك الآن ما هي فكرة ماكسويل الأساسية (فقوامها) أنه ليس لنا أن نهتم ـ بحثاً عن إقامة الدليل على إمكان وجود تفسير ميكانيكي للكهرباء ـ بوجود ذلك التفسير ذاته، بل يكفينا أن نعرف صيغة الدّالتين T وU اللتين تشكلان جزأي الطاقة، وأن نشكّل بواسطة تينك الدّالتين معادلات لاغرانج (Lagrange)، ثم نقارن ـ في ما بعد ـ المعادلات بالقوانين التجريبية.

[٢٢٥] ولسائل أن يسأل كيف لنا باختيار تفسير ما، من بين جميع تلك التفاسير الممكنة، والعون التجريبي يعوزنا تماماً؟ ربما يأتي زمن يزهد فيه الفيزيائيون في هذه الأسئلة الخارجة عن متناول المناهج الوضعية فيتخلون عنها للميتافيزيقيين. ولكن هذا الزمن لم يأت بعد، والإنسان لا يستسلم بسهولة إلى الجهل الأبدي بحقائق الأشياء.

فليس لاختيارنا إذاً إلا أن يستأنس باعتبارات فيها للتقدير الشخصي قسط على غاية من الأهمية، وإن كنا جميعاً نرفض ضرباً من الحلول، لما فيه من الغرابة، ونقبل ضرباً آخر منها، لما فيه من البساطة.

وقد امتنع ماكسويل (Maxwell) ـ في ما يتصل بالكهرباء والمغناطيس ـ عن الاختيار، ولم يكن امتناعه ذاك لازدرائه الدائم كلّ ما لا يمكن أن تطوله المناهج الوضعية. ويشهد لما ذهبنا إليه ما صرفه من وقت انقطع خلاله للنظرية السينيماتيكية في الغازات. ولئن هو لم يبلور أي تفسير في مصنفه المرموق فلأنه سبق له أن

اجتهد في ذلك ضمن مقال بالمجلة الفلسفية(*). وقد دفعه ما وجد في الفرضيات التي كان عليه وضعها من غرابة وتعقيد، إلى التخلي عن ذلك التفسير.

ونحن نجد النَفَس ذاته سارياً في الكتاب كله، إذ وقع التركيز فيه على الأمر الأساسي، أي على ما يجب أن يبقى مشتركاً بين كل النظريات في حين وقع السكوت باستمرار عن كل ما قد لا يتماشى إلا مع نظرية بعينها. وهكذا يجد القارئ نفسه تجاه شكل شبه خال من كل مادة ربما مال بادئ الأمر إلى أخذه مأخذ ظل هارب يُطلب فلا يدرك. إلاّ أن الجهد الذي أكره على بذله، دفعه إلى التأمّل حتى اهتدى إلى ما في النظريات التي كان يجلّها من وجوه التصنع أحياناً.

(*) هي: *Philosophical Magazine* (المترجم).

الفصل الثالث عشر

الكهروديناميكا

إن تاريخ الكهروديناميكا ـ في تقديرنا ـ مفيد كل الفائدة. [٢٢٧]

وقد عنون أمبير (Ampère) أثره الخالد «**بنظرية في الظواهر الكهروديناميكية أسست على التجربة وحدها**» إذ خيل إليه أنه لم يضع أية فرضية، وهو أمر غير صحيح كما سنبين ذلك من دون إبطاء، ولكنه وضع ما وضع من الفرضيات في غير وعي منه.

أما الذين جاؤوا بعده، فقد تفطنوا ـ خلافاً له ـ إلى تلك الفرضيات بحكم ما شدّ انتباههم من مواطن الوهن في ما اقترح أمبير (Ampère) من الحلول، فوضعوا فرضيات جديدة كانوا هذه المرة يعونها حق الوعي. غير أن الأمر اقتضى تغيير الفرضيات مراراً عديدة، قبل الوصول إلى النسق الكلاسيكي المعتمد اليوم، ولربما لم يصبح ذلك النسق بعد نهائياً. ذلك هو ما سننظر فيه.

أولاً: نظرية أمبير

عندما درس أمبير (Ampère) الأفعال المتبادلة بين التيارات، لم يشتغل، وما كان له أن يشتغل إلا على تيارات مغلقة.

وما كان ذلك لإنكاره إمكان وجود تيارات مفتوحة. فإذا ما

شحن ناقلان بكهربائيين متضادي الشارة، ثم وصلناهما بسلك، فسيتولّد تيار ينتقل من ناقل إلى الآخر، وسيدوم حتى استواء الكمونين فيهما. وقد كان ذلك يعتبر في ما راج في عهد أمبير (Ampère) من أفكار، تياراً مفتوحاً، حيث كان التيار يرى منتقلاً
[٢٢٨] من الناقل الأول إلى الثاني من دون أن يرى وهو عائد من الثاني إلى الأول.

[٢٢٨] وهكذا كان أمبير (Ampère) يعتبر التيارات التي هي من هذا القبيل تيارات مفتوحة، ومثالهُ تيارات إفراغ المكثفات ولكنه ما كان ليستطيع أن يجعل منها موضوعاً لتجاربه بحكم قصر أمدها غاية القِصَر.

وباستطاعتنا أن نتخيل ضرباً آخر من ضروب التيارات المفتوحة. أفترض ناقلين A وB يصل بينهما السلك AMB، فستأخذ أوّل الأمر كتلٌ صغيرة ناقلة متحركة، في التّماس مع الناقل B فتستمد منه شحنة كهربائية، ثمّ تغادره متحركة على الطريق BNA فتمس الناقل A وهي تحمل شحنتها لتتركها له، وتعود تلك الشحنة في ما بعد إلى الناقل B عبر السلك AMB.

فنحن ها هنا ـ بمعنى ما ـ أمام دارة مغلقة، إذ إن الكهرباء ترسم الدارة المغلقة BNAMB ولكنّ جُزأي هذه الدارة يختلفان كل الاختلاف. فالكهرباء تنتقل داخل السلك AMB عبر ناقل ثابت، مثلما ينتقل تيار فولطائي، فيتجاوز المقاومة الأومية وينشر الحرارة. فنقول عن هذه الكهرباء إنها تتحرك بالنقل .أما في الجزء BNA فتكون الكهرباء محمولة بواسطة ناقل متحرك فنقول عنها إنها تنتقل بالحمل.

فإذا ما أخذنا عندئذ التيار الحملي على أنه مماثل تماماً للتيار

النقلي كانت الدارة BNAMB دارة مغلقة. أما إذا لم يكن التيار الحملي ـ على العكس من ذلك ـ "تياراً حقيقياً"ـ كأن لا يفعل في المغناطيس مثلاً ـ فلن يبقى إلاّ التيار النقلي AMB وهو تيار مفتوح.

ومثاله أننا إذا ما وصلنا بين قطبي آلة هولتز (Holtz) بسلك، نقل الصحنُ الدائر المشحون الكهرباء من قطب إلى آخر بالحمل لتعود تلك الكهرباء إلى القطب الأول بالنقل عبر السلك.

غير أنه يصعب جداً إيجاد تيارات من هذا النوع تكون على
درجة ذات بال من الشدة، بل يمكن القول إن ذلك كان مستحيلاً [٢٢٩
بالنظر إلى الوسائل التي كانت في متناول أمبير (Ampère).

ونحن نقول ـ في اختصار ـ إن أمبير (Ampère) كان يستطيع تصور وجود نوعين من التيارات المفتوحة، إلا أنه ما كان باستطاعته أن يشتغل لا على هذا ولا على ذاك، إما لأن تلك التيارات كانت على درجة عالية من الشدة، وإما لأن مدتها كانت على غاية من القصر.

لذلك لم تكن التجربة لتشهده إلا فعل تيار مغلق في تيار آخر مغلق أو ـ على أقصى حدّ ـ فعل تيار مغلق في جزء من تيار، حيث يمكن أن نجعل تياراً ما، يقطع دارة مغلقة تتركّب من قسم متحرك وقسم ثابت. ويمكن عندها دراسة انتقال الجزء المتحرك بفعل تيار آخر مغلق.

وفي المقابل، لم تكن بين يدي أمبير (Ampère) أية وسيلة لدراسة فعل تيار مفتوح في تيار مغلق أو في تيار آخر مفتوح.

١ ـ حالة التيارات المغلقة

لقد كشفت التجربة لأمبير Ampère ـ في حالة الفعل المتبادل بين تيارين مغلقين ـ عن قوانين غاية في البساطة.

وأنا أذكّر هنا بسرعة بالقوانين التي سنكون في حاجة إليها في ما سيأتي.

أ ـ إذا وقع الإبقاء على التيارات ثابتة، وإذا ما عادت الدارتان ـ في آخر الأمر ـ إلى موقعيهما الابتدائيين بعد أن تكون لحقتهما إزاحات وتشوهات أيّاً كانت، كان الشغل الكلي للأفعال الكهروديناميكية صفراً.

ونقول بتعبير آخر إن ثمة كموناً كهروديناميكياً للدارتين يتناسب مع حاصل ضرب الشدتين، ويرتبط بشكل الدارتين وموقعهما النسبي. وشغل الأفعال الكهروديناميكية يساوي تباين هذا الكمون.

ب ـ فعل ملف لولبي مغلق صفر.

ج ـ فعل دارة C في دائرة أخرى فولطائية ′C لا يرتبط إلا
[٢٣٠] «بالحقل المغناطيسي» الناتج عن الدارة C. ونحن نستطيع فعلاً أن نحدد ـ من حيث العظم والاتجاه ـ في كل نقطة مكانية قوةً ما، تسمّى قوة مغناطيسية تتصف بالخاصيات التالية:

ـ القوة التي تمارسها الدارة C على القطب المغناطيسي تكون مسلطة على ذلك القطب، وهي تساوي القوة المغناطيسية مضروبة بكتلة القطب المغناطيسية.

ـ تنزع إبرة ممغنطة وقصيرة جدّاً إلى اتخاذ اتجاه القوة المغناطيسية. ويتناسب المزدوج الذي يحملها على ذلك الاتجاه مع حاصل ضرب القوة المغناطيسية بعزم الإبرة المغناطيسي وجيب زاوية الانزياح.

ـ إذا ما انزاحت الدارة C فإن شغل الفعل الكهروديناميكي الذي تمارسه على C يكون مساوياً لتزايد «تدفق القوة المغناطيسية» التي تَعبُر تلك الدارة.

٢ ـ فعل تيار مغلق في جزء من التيار

عندما لم يستطع أمبير (Ampère) إيجاد تيار مفتوح بالمعنى الحقيقي، لم تبق له إلا وسيلة واحدة لدراسة فعل تيار مفتوح في تيار جزئي.

وتتمثل تلك الوسيلة في الاشتغال على دارة C مركبة من جزأين، أحدهما ثابت والآخر متحرك. والجزء المتحرك هو مثلاً سلك متحرك α β بإمكان طرفيه α وβ أن ينزلقا على مدى سلك مثبت. ويستند الطرف α في وضع من أوضاع السلك المتحرك إلى النقطة A من السلك المثبت، ويستند الطرف β إلى النقطة B من السلك ذاته. ثم يسري التيار بين α وβ أي بين A وB، ثم يعود من B إلى A عبر السلك المثبت. فقد كان هذا التيار إذاً مغلقاً.

وفي وضع ثانٍ، يستند الطرف α بعد انزلاق السلك المتحرك إلى نقطة أخرى A′ من السلك المثبت. وعندها يسري التيار من α إلى β أي من A′ إلى B′ عبر السلك المتحرك ثم يعود في ما بعد من B′ إلى B ثم من B إلى A وأخيراً من A إلى A′ دائماً عبر السلك المثبت. فالتيار لم يزل إذاً مغلقاً.

[٢٣١] وإذا ما أخضعنا مثل تلك الدارة لفعل تيار مغلق، فسينزاح الجزء المتحرك، وكأنما هو خاضع لفعل قوة ما. ويسلّم أمبير بأن القوة الظاهرية التي يبدو هذا الجزء المتحرك خاضعاً لها، والتي تمثل فعل التيار المغلق C في القسم αβ من التيار ـ هي القوة ذاتها التي كانت ستظهر لو أن تياراً مفتوحاً قطع القسم αβ وتوقف عند α وβ بدل أن يقطعه تيار مغلق يعود عبر الجزء المثبّت من الدارة إلى α بعد أن يكون قد وصل إلى β.

ولربما بدت تلك الفرضية طبيعية حتى أن أمبير (Ampère) وضعها من دون أن ننتبه لها في حين أنها فرضية لا تفرض نفسها إذ سنرى لاحقا أن هلمهولتز (Helmholtz) سيرفضها. ومهما يكن

من أمر فإنها مكنّت أمبير (Ampère) من صياغة قوانين فعل تيار مغلق في تيار مفتوح، رغم أنه لم يوفق قط إلى إيجاد تيار مفتوح.

وهكذا تظل القوانين على بساطتها.

أ ـ القوة الفاعلة في عنصر من تيار هي قوة مسلّطة على ذلك العنصر، وهي عمودية على ذلك العنصر، وعلى القوة المغناطيسية، وتتناسب مع مركبة تلك القوة المغناطيسية، المتعامدة مع العنصر.

ب ـ فعل ملف لولبي مغلق في عنصر من التيار يبقى صفراً.

ولكن لم يعد ثمة كمون كهروديناميكي، على معنى أنه، بعودة تيارين أحدهما مغلق والآخر مفتوح إلى موقعيهما الابتدائيين مع بقاء شدتهما ثابتة، لا يكون الشغل الكلي صفراً.

٣ ـ الدوران المتصل

أغرب ما وجد، في إطار التجارب الكهروديناميكية، تلك التي تم من خلالها تحقيق دوران متصل وتسمّى أحياناً تجارب الحث أحادي القطب. فهب مغناطيساً يمكنه أن يدور على محوره. وهب تياراً يقطع بادئ الأمر سلكاً مثبتاً ثم يدخل المغناطيس عبر
[٢٣٢] القطب N، ويقطع نصفه، ثم يخرج منه عبر تلامس منزلق، ويدخل السلك المثبت من جديد.

عندها يشرع المغناطيس في دوران متصل من دون أن يستطيع بلوغ موقع توازن، وتلك هي تجربة فاراداي (Faraday).

فكيف أمكن ذلك؟ لو تعلق الأمر بدارتين ثابتتي الشكل، إحداهما C مثبتة، والأخرى C′ متحركة على محور، فلن يتهيأ للثانية بحال من الأحوال أن تدور دوراناً متصلاً، إذ إنّه يوجد بالفعل كمون كهروديناميكي، وبالتالي يوجد توازن هو الوضع الذي يبلغ فيه ذلك الكمون أقصاه.

فالدوران المتصل لا يحدث إلا إذا كانت الدارة ′C مركبة من جزأين، أحدهما مثبت والآخر متحرك على محور، على غرار ما كان عليه الأمر في تجربة فاراداي (Faraday). ويجدر بنا أن نضيف هذا التمييز، وهو أن الانتقال من الجزء المثبت إلى الجزء المتحرك أو العكس، يمكن أن يحدث إما بواسطة تلامس بسيط (فتبقى النقطة ذاتها من الجزء المتحرك ملامسة باستمرار للنقطة ذاتها من الجزء الثابت)، وإما بواسطة تلامس منزلق (حيث تلامس النقطة ذاتها من الجزء المتحرك ـ على التوالي ـ نقاطاً مختلفة من الجزء المثبت).

ولا مجال لحدوث دوران متصل إلا في الحالة الثابتة. وسيحصل عندئذ ما يلي: ينزع النظام فعلاً إلى اتخاذ وضع التوازن. ولكن عندما يشرف على بلوغه يجعل التلامس المنزلق الجزء المتحرك على اتصال بنقطة جديدة من الجزء المثبت، فيتغير الربط وتتغيّر ـ نتيجة لذلك ـ شروط التوازن بحيث يهرب وضع التوازن ـ إن صح التعبير ـ أمام النظام، فيسعى هذا إلى اللحاق به، فيواصل الدوران إلى ما لا نهاية له.

ويسلم أمبير (Ampère) بأن فعل الدارة في الجزء المتحرك من ′C سيبقى الفعل ذاته لو لم يكن الجزء المثبت من ′C موجوداً وكان التيار الساري في الجزء المتحرك منه ـ نتيجة لذلك ـ مفتوحاً.

وهكذا يخلص إلى أن فعل تيار مغلق في تيّار مفتوح أو ـ عكساً ـ أن فعل تيار مفتوح في تيار مغلق يمكن أن ينتج دوراناً ‎[233]
متصلاً.

غير أن هذا الاستنتاج رهين الفرضية التي سبق أن صغتها ولم يسلم بها هلمهولتز كما أشرت إلى ذلك.

٤ ـ الفعل المتبادل بين تيارين مفتوحين

لا وجود لأية تجربة تتصل بالفعل المتبادل بين تيارين مفتوحين، أو تتصل خاصة بفعل عنصرين من تيار. وقد لجأ أمبير (Ampère) إلى الفرضية فوضع ما يلي:

أ ـ يعزى الفعل المتبادل بين عنصرين إلى قوة متجهة باتجاه الخط الذي يجمع بينهما.

ب ـ فعل تيارين مغلقين هو محصلة الأفعال المتبادلة لمختلف أجزائهما، إضافة إلى أن تلك الأفعال تبقى هي ذاتها فيما لو كانت العناصر منفصلة.

واللافت للنظر أن أمبير (Ampère) يضع هاهنا أيضاً هاتين الفرضيتين عن غير وعي منه بهما.

ومهما يكن من أمر فهما كافيتان إذا ما أضفنا إليهما التجارب المجراة على التيارات المفتوحة، لتحديد قانون الفعل المتبادل بين عنصرين تحديداً متكاملاً.

غير أن جل القوانين البسيطة التي كنا قد صادفناها في حالة التيارات المغلقة، لن تكون ـ عندئذ ـ قوانين صحيحة.

فلا وجود أولاً لكمون كهروديناميكي وهو لم يكن أيضاً موجوداً ـ كما سبق أن رأينا ذلك ـ في حالة التيار المغلق الفاعل في تيار مفتوح.

ثم إنه لم يعد ثمة قوة مغناطيسية بالمعنى الدقيق. إذ سبق لنا فعلاً أن أضفينا على تلك القوة ثلاثة تعريفات مختلفة وهي:

أ ـ تعريف بواسطة القوة المسلّطة على قطب مغناطيسي.

ب ـ تعريف بواسطة المزدوج الموجه الذي يوجه الابرة الممغنطة.

ج ـ تعريف بواسطة الفعل المسلّط على عنصر ما من عناصر التيار. [٢٣٤

والحقيقة أن هذه التعريفات الثلاثة لم تعد ـ في الحالة التي نحن بصددها الآن ـ متوافقة بل لم يعد كذلك لأيّ منها معنى نظراً إلى ما يلي:

أ ـ لم يعد القطب المغناطيسي غير خاضع إلاّ لقوة وحيدة تمارس على ذلك القطب. وقد رأينا فعلاً أن القوّة الناتجة عن فعل عنصر من تيار في قطب، لا تمارس على ذلك القطب، بل على العنصر، إضافة إلى إمكان استبدالها بقوة يمارسها مزدوج على القطب.

ب ـ إن المزدوج المؤثر في الإبرة الممغنطة، لم يعد مجرد مزدوج موجه. ذلك أن عزمه لم يَعد صفراً، بالنسبة إلى محور الإبرة، وهو يحلّل إلى مزدوج موجه بالمعنى الدقيق، ومزدوج تكميلي ينزع إلى إنتاج دوران متصل، كنت تحدثت فيه سابقاً.

ج ـ وأخيراً، إن القوة المسلطة على عنصر من تيار، لا تكون عمودية على ذلك العنصر.

ونقول بتعبير آخر إن **وحدة القوة المغناطيسية قد اضمحلت.**

وإليك ما به قوام تلك الوحدة: إذا مارس قطبان قوة ما بذاتها على قطب مغناطيسي فإنهما سيمارسان أيضاً القوة ذاتها على إبرة ممغنطة لامتناهية الصغر، أو على عنصر من تيار إذا ما وضعا في النقطة المكانية ذاتها التي كان يحتلها ذلك القطب.

ويكون هذا الأمر صحيحاً بالفعل، إذا لم يحتو هذان النظامان، إلا على تيارات مغلقة، ولكنه لن يكون صحيحاً في تقدير أمبير (Ampère)، إذا ما احتوى النظامان على تيارات مفتوحة.

ويكفي أن نلاحظ مثلاً أنه إذا ما وضع قطب مغناطيسي في النقطة A وعنصر من تيار في النقطة B، وكان اتجاه العنصر على امتداد الخط AB، فلن يمارس ذلك العنصر أي فعل في ذلك القطب، بل إنه سيمارس ـ على العكس من ذلك ـ فعلاً ما، في إبرة ممغنطة توضع في النقطة A أو في عنصر من تيار C يوضع في النقطة ذاتها.

[٢٣٥ ٥ ـ الحث

نعلم أن اكتشاف الحث الكهروديناميكي لم يتباطأ في احتذاء ما جاء في أعمال أمبير (Ampère) الخالدة.

ولم يكن في ذلك إشكال يذكر، ما تعلق الأمر بالتيارات المغلقة. فحتى هلمهولتز (Helmholtz) لاحظ أن مبدأ بقاء الطاقة يمكن أن يكفي لاستنباط قوانين الحث من قوانين الكهروديناميكا التي وضعها أمبير (Ampère)، على أن نلتزم شرطاً واحداً قد أجاد السيد برتراند (Bertrand) توضيحه وهو أن نقبل ـ زيادة على ذلك المبدأ ـ بعض الفرضيات.

ثم إن المبدأ ذاته، يمكّن من ذلك الاستنباط في حالة التيارات المفتوحة. غير أننا لا نستطيع طبعاً إخضاع النتيجة لرقابة التجربة بحكم عدم قدرتنا على إيجاد تلك التيارات.

وإن نحن شئنا تطبيق هذا النمط من التحليل على نظرية أمبير (Ampère) في التيارات المفتوحة، انتهينا إلى نتائج من شأنها أن تباغتنا.

فلا يمكن ـ بادئ ذي بدء ـ استنباط الحث من تباين الحقل المغناطيسي وفقاً للصيغة المتعالمة جداً بين العلماء وأهل الصناعة، حيث لم يعد ثمة ـ فعلاً ـ حقل مغناطيسي بالمعنى الدقيق كما سبق أن قلنا.

وإضافة إلى ذلك، إذا ما خضعت دارة لحث نظام فولطائي متغير S، وإذا ما انزاح ذلك الكيان وتشوه بطريقة ما، تتغير معها شدة تيارات ذلك النظام وفقاً لقانون ما، ثم يعود النظام ـ آخر الأمر ـ بعد تلك التغيرات إلى وضعه الابتدائي. وإذا حدث ذلك، كان من الطبيعي افتراض أن القوة الدافعة الكهربائية المتوسطة المستحثة داخل الدائرة C صفر.

ويكون ذلك صحيحاً إذا كانت الدائرة C مغلقة، ولم يحتو الكيان S إلا على تيارات مغلقة، ولكنه لن يكون صحيحاً ـ إذا قبلنا نظرية أمبير (Ampère) ـ بمجرد أن توجد تيارات مفتوحة، بحيث لن يصير الحث تباين دفق القوة المغناطيسية على أي معنى من معاني هذا اللفظ المتداولة فحسب، بل لن يكون أيضاً من الممكن التمثيل لها بتباين أي شيء كان.

ثانياً: نظرية هلمهولتز

بالغت في الحديث عن نتائج نظرية أمبير (Ampère) وكيف [٢٣٦]
يُتصوّر فيها فعل التيارات المفتوحة.

ومن الصعب تجاهل ما يميز القضايا التي ننتهي إليها على هذا النحو من مفارقة وتكلف، حيث نجد أنفسنا مدفوعين إلى أن نقول: «يجب ألا يكون ذلك كذلك!».

وهكذا ندرك كيف وجد هلمهولتز (Helmholtz) نفسه مدفوعاً إلى البحث عن شيء آخر.

فرفض فرضية أمبير (Ampère) الأساسية التي تعزو الفعل المتبادل بين عنصرين من تيار إلى قوة متجهة تبعاً للمستقيم الذي يصل الواحد منهما بالآخر.

ثم سلّم بعدم خضوع عنصر من تيار لقوة وحيدة بل جعله يخضع لقوة ولمزدوج. وذلك هو الإشكال عينه الذي نشأت عنه

الخصومة الشهيرة التي دارت بين برتراند (Bertrand) و هلمهولتز (Helmholtz).

يستبدل هلمهولتز فرضية أمبير بالفرضية القائلة بأن عنصرين من تيار يقبلان دائما كموناً كهروديناميكياً لا يرتبط إلا بموقعهما واتجاههما، وأن شغل القوى التي يمارسها الواحد منهما على الآخر يساوي تغيّر ذلك الكمون. وهكذا فإن هلمهولتز لا يستطيع الاستغناء عن الفرضية، شأنه في ذلك شأن أمبير (Ampère). ولكنه لم يكن ـ على الأقل ـ يضع الفرضية من دون التعبير عنها صراحة.

فنظريتاهما متفقتان في ما يتعلق بالتيارات المغلقة، وهي الحالة الوحيدة التي تطولها التجربة، ولكنهما مختلفتان في ما عدا ذلك.

وأول وجوه الاختلاف بينهما، هو أن نظرية هلمهولتز تعتبر ـ خلافاً لما كان افترضه أمبير ـ أن القوة التي يبدو القسم المتحرك من التيار المغلق خاضعاً لها، ليست القوة ذاتها التي قد كانت ستتسلط على ذلك القسم المتحرك، لو أنه كان معزولاً وشكّل تياراً مفتوحاً.

لنعد إلى الدارة ′C التي كنا تحدثنا عنها سابقاً، وهي الدارة المتكونة من سلك متحرك $a\ \beta$ ينزلق على سلك مثبت. وفي التجربة الوحيدة التي يمكن إنجازها لا يكون القسم المتحرك $a\ \beta$ معزولاً بل يشكل قسماً من دارة مغلقة. وبمجيء السلك من AB إلى A′B′ يتباين الكمون الكهربائي الكلي لسببين:

أ ـ يطرأ عليه تزايد أول لأن الكمون في A′B′ بالنسبة إلى الدائرة C يختلف عن الكمون في AB. [٢٣٧]

ب ـ يطرأ عليه تزايد ثان، لأنه ينبغي أن نضيف إليه كمونات العناصر ′AA و′BB بالنسبة إلى الدائرة C.

وهذا التزايد المزدوج هو الذي يمثّل شغل القوة التي يبدو القسم AB خاضعاً لها.

وعلى العكس من ذلك، إذا ما كان السّلك المتحرك αβ معزولاً، فان الكمون لا يشهد إلا التزايد الأوّل وحده. وهذا التزايد هو وحده المقياس الذي يقيس شغل القوة الفاعلة في AB.

وثاني وجوه الاختلاف بين النظريتين، أنه لا يمكن أن يوجد دوران متصل من دون تلامس منزلق. وتلك هي بالفعل النتيجة المباشرة لوجود كمون كهروديناميكي، كما رأينا ذلك بخصوص التيارات المغلقة.

فإذا كان المغناطيس مثبتاً، وكان الجزء من التيار الخارج عن المغناطيس سارياً عبر سلك متحرك، أمكن ـ في إطار تجربة فارادای (Faraday) ـ أن يطرأ على ذلك الجزء المتحرك دوران متصل. غير أن ذلك لا يعني أنه لو ألغينا التلامس بين السلك والمغناطيس، وجعلنا تيارًا مفتوحاً يسري في السلك، لشرع ذلك السلك في حركة دوران متصل.

وأعني بذلك فعلاً أن عنصراً معزولاً، لا يتسلط عليه الفعل نفسه الذي يتسلط على عنصر متحرك، يكون جزءاً من دارة مغلقة.

وثمّة فرق آخر بين النظريتين وهو أن فعل ملف لولبي مغلق في تيار مفتوح هو صفر، وفقاً للتجربة وللنظريتين معاً. أما فعله في تيار مفتوح فهو صفر بحسب أمبير (Ampère) ومختلف عن الصفر بحسب هلمهولتز (Helmholtz).

وتلزم عن ذلك نتيجة ذات بال. فقد كنا قدمنا ثلاثة تعريفات للقوة إلاّ أنه لم يعد من معنى ها هنا لثالثها. لأن عنصر التيار لم يعد خاضعاً لقوة وحيدة. كما لم يعد من معنى أيضاً لأول تلك التعريفات، إذ ما القطب المغناطيسي حقاً؟ هو طرف مغناطيس [٢٣٨]

خطي غير محدّد، ولنا أن نستبدل هذا المغناطيس بملف لولبي غير محدد. وليكون لتعريف القوة المغناطيسية معنى، وجب ألا يرتبط الفعل الذي يمارسه تيار مفتوح على ملف لولبي غير محدد إلاّ بموقع طرف ذلك الملف. ومعناه أن يكون الفعل المسلط على ملف لولبي مغلق صفراً. والحال أننا كنا رأينا أن ذلك غير صحيح.

وليس ثمّة - في المقابل - ما يمنع الأخذ بالتعريف الثاني أي التعريف المستند إلى قيس المزدوج الموجّه الذي ينزع إلى توجيه الإبرة الممغنطة.

ولكن إذا ما أخذنا بذلك التعريف، فلن تكون تأثيرات الحث ولا التأثيرات الكهروديناميكية مرتبطة بتوزع خطوط قوة ذلك المجال المغناطيسي فقط.

ثالثاً: مصاعب لازمة عن هاتين النظريتين

تشكل نظرية هلمهولتز (Helmholtz) تحسناً بالمقارنة مع نظرية أمبير (Ampère)، ولكن هيهات أن تكون سوّت كل المصاعب. فما من معنى لعبارة الحقل المغناطيسي لا في هذه ولا في تلك. ولئن نحن أضفينا عليه معنى ما، عبر اصطلاح لا يكاد يخفى تكلُّفه، أصبحت كل القوانين العادية المألوفة بين جميع المختصين في الكهرباء، قوانين غير قابلة للتطبيق. وعلى هذا النحو، لن يمكن قيس قوة الدفع الكهربائية المستحثة داخل سلك، بحساب عدد خطوط القوة التي تعترض ذلك السلك.

ونحن لا ننكر ذلك بسبب صعوبة التخلي عن عادات في القول والتفكير راسخة فحسب، وإنما أيضاً لسبب أبعد منه. فإذا نحن لم نقل بالفعل عن بعد وجب تفسير الظواهر الكهروديناميكية

بتحوير يطرأ على الوسط. وذلك التحوير هو ما نسميه تدقيقاً الحقل المغناطيسي، فوجب عندئذ أن لا تتبع التأثيرات الكهروديناميكية إلا ذلك الحقل.

وكل هذه المصاعب لازمة عن فرضية التيارات المفتوحة.

رابعاً: نظرية ماكسويل

تلك هي المصاعب التي أثارتها النظريات الغالبة عندما جاء ماكسويل (Maxwell) فمحاها جميعاً بجرة قلم، إذ لم يعد من ٢٣٩]
وجود عنده إلا للتيارات المغلقة.

فهو يسلم بأنه إذا ما تباين حقل كهربائي في عازل ما، أصبح ذلك العازل مقراً لظاهرة معينة تفعل في الغالفانومتر فعل التيار وهو ما يسميه **تيار الإزاحة**.

وإذا ما وُضع ـ عندئذ ـ عازلان يحملان شحنات متضادة في حالة اتصال بواسطة سلك، انتشر في ذلك السلك مدةَ التفريغ، تيارٌ نقلي مفتوح، ولكن تنشأ ـ في الوقت نفسه ـ تيارات إزاحة في العازل المحيط فتغلق ذلك التيار المفتوح.

ونحن نعلم أن نظرية ماكسويل (Maxwell) تؤدي إلى تفسير الظواهر البصرية باعتبارها ناتجة من ذبذبات كهربائية غاية في السرعة.

ولم يكن هذا التصور في تلك الحقبة إلاّ فرضية جَسُوراً، ما كان لها أن تجد في التجربة ما يسندها.

ثم حظيت رؤى ماكسويل بتأييد تجريبي بعد عشرين سنة، حيث وُفّق هيرتز (Hertz) إلى إنتاج منظومات من الذبذبات الكهربائية التي تنتج بدورها جميع خصائص الضوء، ولا تختلف عنه إلا بطول الموجة، أي كما يختلف اللون البنفسجي عن اللون

الأحمر، فحقق بذلك ما يشبه عملية تركيب الضوء. وعن ذلك نشأ ـ كما يعلم الجميع ـ التلغراف اللاسلكي.

ولنا أن نذهب ـ من دون أن نجانب الصواب ـ إلى أن هيرتز (Hertz) لم يقم البرهان مباشرة على صحة مقالة ماكسويل (Maxwell) الأساسية، تلك المتعلقة بفعل تيار الإزاحة في الغالفانومتر، بل إن ما بينه مباشرة إنما هو ـ إجمالاً ـ أن الحث الكهرومغناطيسي لا ينتشر آنياً كما كان يظن، بل بسرعة الضوء.

[٢٤٠] ولكن ما من فرق بين افتراض عدم وجود تيار الإزاحة وانتشار الحث بسرعة الضوء، وافتراض أن تيارات الإزاحة تنتج تأثيرات حَثّية، وأن الحث ينتشر في اللحظة ذاتها.

ذلك أمر لا يدرك من الوهلة الأولى وإنما يبرهن عليه بواسطة تحليل لا يتهيأ لي حتّى تلخيصه في هذا الموضع.

خامساً: تجربة راولاند

غير أن ثمة ـ كما قلت سابقاً ـ نوعين من تيارات النقل أولهما تيارات تفريغ المكثفة أو تيارات تفريغ ناقل ما.

كما توجد أيضاً حالات ترسم فيها الشحنات الكهربائية نطاقاً مغلقاً وهي تنزاح بالنقل في قسم من الدارة، وبالحمل في القسم الآخر منها.

ففي ما يتعلق بالتيارات المفتوحة من النوع الأول، يمكننا اعتبار المسألة محلولة حيث إن تلك التيارات أغلقت بواسطة تيارات الإزاحة.

أما في ما يتعلق بالتيارات المفتوحة من النوع الثاني فقد بدا الحل أكثر بساطة. فإذا ما أغلق التيار، فلن يكون ذلك ـ على ما يبدو ـ إلا بواسطة تيار الحث ذاته. ولبلوغ ذلك كان يكفي التسليم بأن «تيار الحث» أو قل الناقل المشحون المتحرّك يمكنه أن يؤثر في الغالفانومتر.

إلاّ أنّنا كنّا نفتقر إلى إثبات تجريبي لذلك وكان الحصول على شدة كافية يبدو لنا أمراً مستعصياً حتى لو زدنا ـ قدر الإمكان ـ في الشحنة وفي سرعة النواقل.

وكان راولاند (Rawland) وهو مجرب على غاية من المهارة، أول من انتصر على تلك العوائق. فهبْ أسطوانة تتقبل شحنة كهروستاتيكية قوية وسرعة دوران فائقة. وهبْ أن كياناً مغناطيسياً غير استاتيكي وضع بجانب الأسطوانة فطرأت عليه انحرافات.

لقد أجرى راولاند (Rawland) هذه التجربة مرتين، الأولى في برلين والثانية في بالتيمور، ثم أعادها في ما بعد هيمشتد [٢٤١] (Himsted). وقد ذهب الظن بهذين العالمين إلى حد الاعتقاد بأنهما يستطيعان أن يذيعا على الناس نبأ توصلهما إلى إجراء قياسات كمية.

فسلم جميع الفيزيائيين بقانون راولاند هذا من دون نزاع.

والحق أن كل الدلائل بدت وكأنما هي تشهد له، إذ ممّا لا ريب فيه أن الشرارة تولّد أثراً مغناطيسياً. أفلا يبدو ـ والحال تلك ـ أنه يمكن القول بأن سبب التفريغ بواسطة الشرارة إنما هو جسيمات انتزعت من أحد الالكترودين، ونقلت بشحناتها إلى الالكترود الآخر؟ ألا يقوم طيف الشرارة ذاته الذي نتعرف فيه على خطوط معدن الالكترود، شاهداً على ذلك؟ فالشرارة تشكل بالفعل إذاً تيار حمل.

ووقع التّسليم أيضاً ـ من ناحية أخرى ـ بأن الكهرباء تواكبها ـ داخل الالكتروليت ـ الأيونات المتحركة فاستنتج من ذلك أنها تشكل هي أيضاً ـ داخل الإلكتروليت ـ تيار حمل، والحال أنه يؤثر في الإبرة الممغنطة.

وكذلك كان الشأن بالنسبة إلى الأشعة الكاتودية. فقد ردّها كروكس (Crooks) إلى مفعول مادة غاية في اللطف شحنت بكهرباء

سالبة متحركة بسرعة كبيرة جداً. أو قل إنه أخذها مأخذ تيارات الحمل. ولئن تعرضت نظريته لجدل لم يدم طويلاً، فإن الأمر قد استتب لها اليوم والحال أن تلك الأشعة الكاتودية تنحرف بفعل المغناطيس فوجب ـ بحكم مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل ـ أن تجعل بدورها الإبرة الممغنطة تنحرف.

صحيح أن الظن ذهب بهيرتز (Hertz) إلى أنه برهن على أن الأشعة الكاتودية لا تواكب الكهرباء السالبة، ولا تؤثر في الإبرة الممغنطة، ولكنه أخطأ في ما ذهب إليه. فقد تمكن بادئ الأمر بيران (Perrin) من جمع الكهرباء التي تنقلها تلك الأشعة والتي كان هيرتز أنكر وجودها. ويبدو أن ما أوقع العالم الألماني في الخطأ، وجود تأثيرات تعزى إلى تأثير الأشعة السينية التي لم تكن قد اكتشفت بعد. ووقع بعد ذلك ـ وما بالعهد من قدم ـ إبراز فعل الأشعة الكاتودية في الإبرة الممغنطة، فوقع التعرف على سبب الخطأ الذي ارتكبه هيرتز (Hertz).

[٢٤٢] وهكذا يتبيّن أن كل هذه الظواهر التي اعتبرت تيارات حمل، وهي الشرر، والتيارات الالكترولية، والأشعة الكاتودية، تؤثر في الغالفانومتر بطريقة واحدة وعلى مقتضى قانون راولاند (Rowland).

سادساً: نظرية لورانتس

إننا لم نبطئ في الذهاب إلى أبعد من ذلك. فتيارات النقل ذاتها تبدو ـ في نظرية لورانتس (Lorentz) ـ وكأنها تيارات حمل حقيقية، إذ تبقى الكهرباء متعلقة تعلقاً لا فكاك له بضروب من الجسيمات المادية تسمى **إلكترونات**. ويبدو أن سريان تلك الإلكترونات عبر الأجسام هو الذي ينتج التيارات الفولطائية، وأن ما يميز النواقل عن العوازل أن الأولى تسمح بأن تتخلّلها الإلكترونات في حين أن الثانية تعطل حركاتها.

ونظرية لورانتس خلابة جداً، إذ هي تقدم تفسيراً غاية في البساطة لبعض الظواهر التي لم تكن النظريات القديمة وحتى نظرية ماكسويل نفسها في صيغتها الابتدائية، تستطيع تفسيرها تفسيراً مرضياً، مثل الزيغ الضوئي وانجرار الموجات الضوئية الجزئي، والاستقطاب المغناطيسي وتجربة زيمن (Zeeman).

ولم تزل بعض الاعتراضات قائمة. فقد كانت الظواهر المستقرة في نظام ما تبدو وكأن الواجب فيها أن تكون مرتبطة بالسرعة المطلقة التي ينتقل بها مركز ثقل ذلك النظام، وهو أمر يناقض تصورنا لنسبية المكان. وقد صاغ السيد ليبمان (Lippmann) بمناسبة مناقشة رسالة دكتوراه السيد كريميو (Crémieu)هذا الاعتراض صياغة رائعة، فافترض ناقلين مشحونين يتحركان حركة نقلة بسرعة واحدة، فهما في سكون نسبي. ومع ذلك، اعتباراً إلى أن كل واحد منهما يضاهي تيار حمل، فإن الواجب فيهما أن يتجاذبا. ويمكن قيس سرعتهما المطلقة بواسطة قيس تلك الجاذبية.

وكان أنصار لورانتس (Lorentz) يردّون على ذلك بالنفي، باعتبار أن ما يقاس بهذه الطريقة إنما هو سرعتهما النسبية بالقياس
إلى الأثير لا سرعتهما المطلقة، بحيث يظل مبدأ النسبية سليماً. [٢٤٣]
وقد وفق لورانتس (Lorentz) منذ ذلك الحين إلى إجابة أكثر لطافة ولكنها أكثر إقناعاً.

ومهما كان أمر هذه الاعتراضات الأخيرة، فانه يبدو أن صرح الكهروديناميكا قد شيّد نهائياً على الأقل من جهة ملامحه العامة، فبدا كل شيء على ما يرام، إذ زالت نظريتا أمبير (Ampère) وهلمهولتز (Helmholtz) اللتان أنشئتا لتفسير التيارات المفتوحة، فلم يعد لهما من قيمة الا القيمة التاريخية.

وليس تاريخ هذه التغييرات أقل نفعاً إذ هو يطلعنا على ما يعرض للعالم من شراك، ويعلمنا كيف يتأتى له الأمل في الخلاص منها.

الفصل الرابع عشر

نهاية المادة(١)

إحدى أعجب الاكتشافات التي أعلنها الفيزيائيون في العشريات الأخيرة هي أن المادة ليس لها وجود. وعلينا أن نسارع بالقول إن ذلك الاكتشاف لم يصبح بعد اكتشافاً نهائياً، حيث إن صفة المادة الأساسية إنما هي كتلتها أو قل عطالتها، والكتلة هي ما بقي ثابتاً في كل مكان وزمان، وهي ما يبقى بعد أن يبدل تغيير كيميائي ما كل ما كان للمادة من كيفيات حسية، حتى لكأنه صيّرها جسماً آخر. فلو أقمنا البرهان على أنّ الكتلة أي عطالة المادة لا تنتمي إليها بالحقيقة، وعلى أنها بهرج مستعار تتزيّن به، وعلى أن تلك الكتلة عرضة هي ذاتها ـ وهي الثابتة بامتياز ـ للفساد، لجاز لنا فعلاً أن نقول بأن المادة ليس لها وجود، وهو تدقيقاً ما يُعلن. [٢٤٥]

إن ما أمكننا ملاحظته حتى الآن من سرعات، إنما هي سرعات ضعيفة حقاً، إذ إن الأجرام السماوية وهي تفوق جميع سياراتنا سرعة، لا تتجاوز ٦٠ أو ١٠٠ «كيلومتر» في الثانية. وصحيح أن الضوء أسرع من ذلك ٣٠٠٠ مرة، إلا أنه ليس مادة تنتقل، بل هو اضطراب يسري عبر جوهر ساكن نسبياً، على غرار

---

(١) انظر تطور المادة لمؤلفه غوستاف لوبون Gustave Le Bon, *L'Evolution de la matière* (Paris: Flammarion, 1905).

ما يسري الموج على سطح المحيط. وقد بيّنت جميع الملاحظات
[٢٤٦] التي أنجزت تحت هذه السرعات الضئيلة، ثبات الكتلة، وما من
أحد تساءل عما إذا كان الأمر سيبقى كذلك تحت سرعات أكبر.

فالكائنات اللامتناهية الصغر هي التي حطّمت الرقم القياسي الذي سجله عطارد أسرع الكواكب، وأعني بها جسيمات تنتج حركاتُها الأشعة الكاتودية وأشعة الراديوم. ونحن نعلم أن تلك الإشعاعات تسببها قنبلة جُزَيْئِيَة حقيقية، تكون القذائف التي ترمى أثناءها مشحونة بالكهرباء السالبة. وهو ما يمكن التأكد منه بجمع تلك الكهرباء في اسطوانة فاراداي (Faraday). وتنحرف تلك القذائف بحكم شحنتها سواء بتأثير من حقل مغناطيسي، أو بتأثير من حقل كهربائي. وتمكّننا المقارنة بين تلك الانحرافات من معرفة سرعتها، ونسبة شحنتها إلى كتلتها.

والحقيقة أن تلك القياسات قد كشفت لنا - من ناحية - عن أن سرعتها هائلة إذ تقارب عشر سرعة الضوء أو ثلثها، وهي تفوق ألف مرة سرعة الكواكب، كما كشفت لنا - من ناحية أخرى - عن أن شحنتها كبيرة جداً بالمقارنة مع كتلتها. لذلك كان كل جسيم متحرك، يشكل تياراً كهربائياً لا بأس به. بيد أننا نعلم أن التيارات الكهربائية تبدي ضرباً من العطالة الخاصة تسمى الحث الذاتي(*). فإذا استقر التيار نزع إلى البقاء على حالته، وهو ما يجعلنا نشاهد - عند قطع التيار بقص الناقل الذي يسري فيه - شعاعاً يتطاير عند موضع القطع.

وهكذا فإن التيار ينزع إلى الإبقاء على شدّته مثلما ينزع الجسم المتحرك إلى الإبقاء على سرعته. وبالتالي فإن الجسيم الكاتودي يقاوم الأسباب التي من شأنها أن تغير سرعته وذلك

(*) Self Induction وردت بالانكليزية في النص الأصلي (المترجم).

لسببين، أولهما عطالته بالمعنى الدقيق، وثانيهما حثّه الذاتي، باعتبار أن كل تغيير يطرأ على السرعة يشكّل في الوقت ذاته تغييراً يطرأ على التيار المقابل. فالجسيم أو الإلكترون كما يقال، يمتلك عطالتين، هما العطالة الميكانيكية والعطالة الكهرومغناطيسية.

وقد وحّد السيدان أبراهام (Abraham)، وهو ممن يؤمنون بالحساب وكوفمان (Kaufmann)، وهو ممن يؤمنون بالتجربة، جهودهما لتحديد نسبة كل ضرب من ضربي تلك العطالة، فألزمهما ذلك بالتسليم بفرضية تقضي بتماهي جميع الإلكترونات [٢٤٧] السالبة وبأنّها معبأة بشحنة واحدة هي بالأساس شحنة ثابتة، وبأن ما يسجل من فروق بينها إنما يعزى إلى اختلاف سرعات حركاتها. وعندما تتبدّل السرعة تبقى الكتلة الحقيقية أي الكتلة الميكانيكية ثابتة، وقل إن شئت إن ذلك هو تعريف الكتلة عينه. أما العطالة الكهرومغناطيسية التي تساهم في تكوين الكتلة الظاهرة، فإنها تتزايد بتزايد السرعة بحسب قانون ما. لذلك كان من الضروري أن توجد علاقة بين السرعة ونسبة الكتلة إلى الشحنة. وهما كميتان يمكن، كما قلنا، حسابهما بملاحظة انحراف الأشعة بفعل المغناطيس أو الحقل الكهربائي. وتمكن دراسة تلك العلاقة من تحديد حصة كل واحدة من تينك العطالتين. وقد كانت النتيجة مذهلة فعلاً، وهي أن الكتلة الحقيقية صفر. ولا ريب في أن تلك النتيجة تتوقف على التسليم بالفرضية التي كانت وضعت في البداية، إلّا أن التوافق بين المنحني النظري، والمنحني التجريبي على غاية من الأهمية بحيث يجعل تلك الفرضية أقرب ما تكون إلى الحقيقة.

وعلى هذا النحو، لا تكون للإلكترونات السالبة كتلة بالمعنى الحقيقي، ولئن هي بدت لنا وكأنما هي ذات عطالة فلأنها لا تستطيع أن تبدل سرعتها من دون أن تحدث اضطراباً في الأثير. ولذلك فإن عطالتها الظاهرة ليست إلا عطالة مستعارة على معنى

أنها عطالة الأثير لا عطالتها هي بالذات. غير أن تلك الإلكترونات
السالبة ليست كل المادة. فكان بمستطاعنا أن نسلم ـ بالاضافة إليها *
ـ بوجود مادة حقيقية تمتلك عطالة ذاتية، إذ توجد ضروب من
الإشعاعات تعزى إلى وابل من القذائف. ولكنها قذائف معبأة
بشحنات موجبة مثل تلك التي سماها غولدشتاين (Goldestein)
«بالأشعة ـ القناة» وأشعة a التابعة للراديوم. فهل هذه الإلكترونات
الموجبة لا تمتلك هي أيضاً كتلة؟ يستحيل علينا أن نحسم الأمر،
لأنها أثقل بكثير من الإلكترونات السالبة، وأقل بكثير منها سرعة،
فتبقى لنا عندها فرضيتان مقبولتان. فإما أن تكون الإلكترونات
الموجبة أثقل لأنها تملك إلى جانب عطالتها الكهرومغناطيسية
المستعارة، عطالة ميكانيكية ذاتية، فتصبح عندئذ هي المادة
الحقيقية، وإما أن تكون بلا كتلة مثل الإلكترونات الأخرى، ولئن [٢٤٨
هي بدت لنا أثقل منها فلأنها أصغر. وأقول جيداً إنها أصغر على
ما قد يبدو عليه ذلك من المفارقة، إذ قد لا يكون الجسيم في
إطار هذا التصور إلا خلاء في الأثير بما هو الشيء الحقيقي
الوحيد الذي يمتلك عطالة.

ليست المادة حتى الآن عرضة للزوال، إذ لم يزل بوسعنا تبني الفرضية الأولى، بل حتى أن نذهب إلى القول بوجود ذرات محايدة خلا الالكترونات الموجبة والسالبة. ولكن أبحاث لورانتس (Lorentz) الحديثة العهد ستحرمنا من هذا الملجأ الأخير. فنحن نصحب الأرض في حركتها وهي حركة على غاية من السرعة، فهل لا تتأثر الظواهر البصرية والكهربائية بتلك النقلة؟ ذلك ما اعتقدناه صحيحاً زمناً طويلاً، فافترضنا أن الملاحظات تكشف لنا عن فروق بحسب توجيه الأجهزة بالنسبة إلى حركة الأرض، ولكن لم يتأكد شيء من ذلك كله، ولم تكشف أدق القياسات عن شيء من هذا القبيل، بل كانت التجارب في هذا السياق تبرّر ما ينفر منه جميع الفيزيائيين على السواء. فلو عثرنا بالفعل على شيء ما،

لكنا عرفنا لا حركة الأرض النسبية بالقياس إلى الشمس فحسب، بل وكذلك حركتها المطلقة في الأثير. ولمّا كان يعسر على الكثير الاعتقاد بإمكان أن تمدنا التجربة بشيء آخر غير الحركة النسبية، كان من الأيسر لهم الاعتقاد في أن المادة لا كتلة لها.

وبالتالي لم تثر فينا التجارب السلبية التي انتهينا إليها اندهاشاً يذكر، إذ كانت مناقضة لما يدرّس من النظريات، ولكنها كانت تلامس فينا غريزة أقدم من جميع تلك النظريات فضلاً عن أنّ الأمر كان يدعو إلى تحوير تلك النظريات حتى تتلاءم مع الوقائع، وهو ما أنجزه فيتزجيرالد (Fitzgerald) مستخدماً فرضية مفاجئة حيث سلم بأن جميع الأجسام يلحقها في اتجاه حركة الأرض تقلّص مقداره واحد على مائة مليون. فالكرة الكاملة تصبح مجسماً اهليليجياً مسطحاً، وهي تتشوه إذا ما نحن جعلناها تدور، بحيث [٢٤٩]
يكون المحور الصغير للمجسّم الاهليليجي على الدوام موازياً لسرعة الأرض. ولما كانت أجهزة القيس تلحقها التشويهات ذاتها التي تلحق الأشياء المقيسة بها، فإننا لن نتفطن إلى أي تغيير إلا إذا ما عنّ لنا تحديد الزمن الذي يقضيه الضوء في قطع طول الشيء الذي نقيسه.

تلك فرضية تفسر الوقائع التي لاحظناها، غير أنها لا تكفي لأنه سيأتي يوم نجري فيه ملاحظات أدق فهل ستكون النتائج عندها إيجابية؟ أي هل ستمكّننا من قيس حركة الأرض المطلقة؟ لم يقل لورانتس (Lorentz) بذلك، بل اعتقد أن ذلك التحديد سيظل على الدوام مستحيلاً. والغريزة التي يشترك فيها جميع الفيزيائيين، إنما يضمنها له كفايةً ما سُجّل إلى حد الآن من إخفاق في هذا السياق.

فلنعتبر إذاً تلك الاستحالة قانوناً طبيعياً عاماً، ولنسلم به وكأنما هو مصادرة، فما ستكون نتائجه؟ ذلك ما بحث فيه لورانتس

(Lorentz) فوجد أن الأمر يقضي بأن تكون لكل الذرات، وكل الالكترونات، الموجب منها والسالب، كتلة عطالة متبدّلة بحسب السرعة ووفقاً لقوانين واحدة تدقيقاً. وعلى هذا النحو تصبح كل ذرة مادية متكونة من الكترونات موجبة وهي صغيرة وثقيلة، والكترونات سالبة وهي كبيرة وخفيفة. وإذا لم يبد لنا المحسوس من المادة مكهرباً، فلأن الضربين من الالكترون متعادلان تقريباً من جهة العدد، ولا كتلة لهذا أو لذاك إلا ما كان لكل منهما من العطالة المستعارة. فلا وجود ـ في هذا النسق النظري ـ لمادة حقيقية وإنما هي مجرد ثقب في الأثير.

والمادة في تقدير السيد لانجفان (Langevin) أثير مسيّل قد فقد خصائصه. فإذا ما تحركت المادة، فليست تلك الكتلة المسيّلة هي التي تنساب عبر الأثير، بل إن التسيّل هو الذي يمتد شيئاً فشيئاً إلى أقسام جديدة من الأثير، في حين تستعيد من الخلف الأجزاء التي كانت تسيّلت في البداية وضعها الأصلي، فتبدو المادة وكأنها لا تحفظ هويتها عندما تتحرك.

ذلك ما كانت عليه المسألة منذ مدة قصيرة. ولكن ها هو هذا
السيد كوفمان (Kaufman) يعلن نبأ تجارب جديدة تقضي بأن [٢٥٠]
الالكترون السلبي ذا السرعة الهائلة، يلحقه التقلص الذي قال به فيتزجيرالد (Fitzgerald)، وهو ما من شأنه أن يدخل تحويراً على العلاقة بين السرعة والكتلة. غير أن آخر التجارب لا يؤكد هذا التوقع. فقد يتهافت إذاً كل شيء، وتستعيد المادة حقها في الوجود، ولكن التجارب هشة، ولربما كان القول بنتيجة نهائية، أمراً سابقاً لأوانه.

الثبت التعريفي

استدلال بالتراجع (Raisonnement par récurrence/Reasoning with Recurrence): يقال الاستدلال بالتراجع عامة عن كل عملية **نظرية** يطلب فيها الفكر نتيجة بتوسط مقدمات. فإذا وضعت تلك المقدمات على جهة **كلية** أو **كونية** كان الاستدلال **استنباطياً** وإذا وضعت على جهة **جزئية** أو **خصوصية** كان الاستدلال **استقرائياً**.

وتقال الحالة الأولى بالخصوص عن الاستدلال القياسي (Syllogism/Syllogisme) على المنطق الأرسطي في حين تقال الحالة الثانية عن منهج البحث في العلوم الخبرية (Empirical/ Empirique) حين يكون الانطلاق من فحص أكبر عدد ممكن من الحالات الخاصة للخلوص إلى نتيجة عامة. لذلك قيل في الأول إنه استدلال **يقيني** وفي الثاني إنه **لايقيني**، لأنه لا يأتي على جميع الحالات الخاصة الممكنة. والاستدلال الاستنباطي يقيني لأنه **صوري** غير منتج إذ ليس ثمة في النتيجة أكثر مما هو موجود سلفاً في المقدمات. أما الاستدلال الاستقرائي فهو منتج ولكنه لا يمكّن من إدراك حقيقة يقينية لأن التعميم فيه مرتبط بعدد «التجارب» أو «المشاهدات» أو الحالات التي تم فحصها.

والاستدلال بالتراجع منهج يقترحه بوانكاريه في الرياضيات

لتجاوز «عقم» الاستدلال الاستنباطي «وريبية» الاستدلال الاستقرائي ليجمع بين يقين الأول وإنتاجية الثاني أو «خصبه» فتكون الرياضيات علماً يقينياً وخصباً معاً، على نحو ما هو مبين في الفصل الأول من هذا الكتاب.

اسمانية (Nominalisme/Nominalism): مذهب من يرى أن الأفكار العامة ليست إلا أسماء لا تدل بذاتها على مفاهيم راكزة في الذهن ولا على موجودات قائمة في الواقع وبالتالي فهي مجرد علامات لغوية.

لذلك كان التقابل بين «التعريف بالاسم» و«التعريف بالحقيقة» والاقتصار على الأول دون الثاني من أهم أركان الاسمانية عامة. فالتعريف بالاسم مجرد شرح لفظي للعنصر المعرف من دون تأكيد أن «ما ذكر هو على ما ذكر». أما التعريف بالحقيقة فهو حد لماهية المعرف وتأكيد لوجوده. فعندما نقول «الجن حيوان هوائي ناطق مشق الجرم من شأنه أن يتشكل بأشكال مختلفة...» نكون وضعنا اصطلاحاً كائناً من دون تأكيد أنه موجود فعلاً. وبالتالي كانت الاسمانية تقابل الواقعية وتقتصر المعرفة على العياني الشاهد والمعني على التجربة الخاصة الجزئية ومن ثم كانت علاقتها الحميمة بالخبرية والظاهرية من ناحية وبالمجردات الاصطلاحية المنطقية والرياضية من ناحية أخرى كما هو بين عند دوهام (Duhem) ولو روا (Le Roy) مثلاً حيث يستعاض عن إشكال الحقيقة الموضوعية بإشكال الاصطلاح والجدوى وينكر على المعرفة الاسمانية عامة والعلم خاصة إمكانية النفاذ إلى حقيقة الواقع أي المعرفة الموضوعية وهو ما يفضي إلى رد العلم إلى مجرد آلة أو «وسيلة» مثله في ذلك مثل «التقنية».

ولئن رفض بوانكاريه تعميم «الاسمانية» على جميع العلوم ليقصرها على الرياضيات وحدها، فإن موقفه يظل متردداً غامضاً

بحكم غلبة المنزع الرياضي على تأملاته الفلسفية. وهو ما يلبس في المكانة الابستيمولوجية التي يضيفها على «مبادىء» الميكانيكا باعتبارها مجرد «تعريفات» أو اصطلاحات لا يمكن التحقق منها أبداً خلافاً للقوانين العلمية.

اصطلاحية (Conventionnalisme/Conventionnalism): موقف يرى في أصول العلوم مجرد اصطلاحات أي قضايا يتواضع الآخذون بها على صحتها صورياً من دون ادعاء تطابقها مع الواقع. وعلى هذا النحو يكون التعريف الرياضي مثلاً مجرد اصطلاح لا يمكن أن يقال بصحته أو بخطئه في ذاته، وإنما تعتبر فيه الجدوى الوصفية والتناسق المنطقي ويُسر الاستخدام العملي، وهي المعايير التي تتفاضل بها النظريات العلمية ويُستند إليها لاختيار هذه أو تلك من دون ادعاء الوصل بالحقيقة أو الموضوعية، وهو ما يشهد لشدة الصلة بين الاصطلاحية والاسمانية وما يفسر بعض مصاعب موقف بوانكاريه من العلم الفلكي والميكانيكي والفيزيائي وما يفضي به إلى ضرب من الريبية.

تحصيل الحاصل (Tautologie/Tautology): يقال تحصيل الحاصل عن القضية التي يكون المحمول فيها تكراراً للحامل بصورة أو بلفظ مختلف مثلما هو الشأن في الأحكام التحليلية أو المعادلات الرياضية من قبيل $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$.

ولذلك يرفض بوانكاريه أن تكون الرياضيات تحليلية لأنها لو كانت كذلك لاختزلنا كلياً في قولنا $A = A$.

حدس (Intuition/Intuition): يقال الحدس عن فعل يدرك به الذهن حقيقة ما إدراكاً مباشراً، أي من دون واسطة وبالتالي من دون استدلال، كأن يركن في الذهن معنى الدائرة أو المستقيم من دون حاجة إلى برهان. ولذلك فإن المفترض في أوليات العلم

كالبديهيات الرياضية والمصادرات أن تدرك حسياً حيث لا يحتاج العقل إلى برهان ليفهم أن الجزء أصغر من الكل مثلاً. وبذلك فإن الحدس بما هو إدراك مباشر يقابل الاستدلال بما هو إدراك يتوسط إليه بمقدمات.

حكم تأليفي (Jugement synthétique/Synthetic Judgment): يُقال الحكم التأليفي (أو التركيبي) في المنطق الحملي عن كل قضية يضاف فيها محمول إلى حامل بتفاوت في المعنى بحيث يضيف المحمول إلى معرفتنا بالحامل عنصراً جديداً غير متضمن سلفاً فيه كقولنا الأجسام ثقيلة (كانط) لما بين الجسمية والثقالة من الاختلاف الدلالي.

وذهب بوانكاريه إلى أن الأحكام الرياضية أحكام تأليفية لا تحليلية، مثلما قال بذلك كانط، ولكنه لم يذهب إلى القول بأنها أحكام تأليفية قبلية. (Jugement synthétique à priori / Synthetic apriori Judgment). وإنما هي أحكام تأليفية استقرائية على المعنى الذي يحدده الاستدلال التراجعي.

حكم تحليلي Jugement Analytique / Analytical Judgment: يُقال الحكم في المنطق الحملي عن كل قضية يضاف فيها محمول إلى حامل. ويكون الحكم تحليلياً عندما تكون علاقة الحامل بالمحمول علاقة تماه بحيث لا يضيف الثاني إلى ما نعرف عن الأول شيئاً كقولنا الأجسام ممتدة (كانط) باعتبار أن الامتداد والجسمية شيء واحد.

وقد ذهب لايبنتز إلى أن الأحكام الرياضية أحكام تحليلية إذ ليس ثمة عنده في الطرف الثاني من المعادلة إلا ما هو موجود سلفاً في الطرف الأول فيها وهو ما لم يسلم به بوانكاريه.

ظاهرية (Phénoménisme / Phenomenalism): تُقال الظاهرية

عن مقاربة نظرية تقصر المعرفة على الحسي وهي بذلك مشدودة ابستيمولوجياً إلى الخبرية القائمة على القول بأن «ما من شك في الذهن إلا وكان باديء الأمر في الحس» سواء دل ذلك على اعتماد الحواس الخمس مصدراً للمعرفة أو على حس واحد مثلما هو الشك في علم الفلك أو علم الهيئة الذي لا سند له إلا المشاهدة البصرية المجردة منذ العصور القديمة حتى غاليلي (١٦١٠)، وهو ما من شأنه أن لا يسمح بمعرفة «الأجرام» السماوية إلا بالظاهر من دون ادعاء التمكن من جواهرها وحقائق ماهياتها. ولا بد من تحديد نظام الكون على ما هو عليه بالفعل فكان علم الفلك علم «حسبان» لا علم «وجود» وعلماً «بالظاهر» لا «بالباطن» على ما ذهب إلى ذلك لو روا ودوهام وحتى بوانكاريه نفسه.

ولا شأن أصلاً لهذه المقاربة الظاهرية بالمقاربة الفينومينولوجية كما هي عند كانط أو هيغل أو هومرل.

عطالة (Inertie /Inertia): تُقال العطالة عن قصور المادة على تغيير حالتها الفيزيائية أو الميكانيكية أو الهندسية من تلقاء ذاتها أي من دون فعل يسلط عليها من الخارج. ومبدأ العطالة في الميكانيكا يقال عن قصور المادة على تغيير وضعها ذاته، فالجسم الساكن يبقى ساكناً ما لم تحركه قوة خارجة عنه والجسم المتحرك حركة مستقيمة منقطعة يبقى على حالته تلك ما لم يقسره قاسر خارجي على تغيير مساره أو سرعته أو الاثنين معاً.

ويرى بوانكاريه أن هذا المبدأ الذي قامت عليه الميكانيكا الحديثة (ديكارت، نيوتن) لا يستقيم معناه إلا اصطلاحياً لأنه لا يمكن أن يصبح إلا على مركز الكون وهو موضع لا تطوله التجربة للحكم بصحته أو بخطئه.

النفعية (Utilitarisme / Utilitarism) ـ تُقال النفعية عن

الموقف الذي يقيس قيمة الأفكار النظرية والقيم العملية بنتائجها الميدانية أو «بثمارها» درءاً للمضار وجلباً للمنافع. وبالتالي فإن المعرفة لا تطلب لذاتها ولا تقيم النظري بحسب معايير تخصه لذاته وإنما بالنظر إلى غاية خارجة عنه هي المنفعة أو الربح أو السعادة...

ثبت المصطلحات

A posteriori	بعدي
A priori	قبلي
Absorption	امتصاص
Accélération	تسارع
Accidentel	عرضي
Action (principe de moindre)	مبدأ الفعل الأدنى
Addition	جمع
Aiguille aimantée	إبرة ممغنطة
Analysis situs, Topologie	طوبولوجيا
Associativité	تجميعية
Axiome	بديهية
Carrés (méthode des moindres...)	منهج أصغر المربعات
Chaîne	سلسلة
Champ électrostatique	مجال كهروستاتيكي
Champ magnétique	مجال مغناطيسي
Charge	شحنة
Cinématique	سينماتيكي، حركي، سينماتيكا
Circuit fermé	دارة مغلقة
Circuit ouvert	دارة مفتوحة

Collection de termes	مجموعة حدود
Commensurable	متقايس
Commutativité	إبدالية
Condensateur	مكثفة
Conducteur	ناقل
Continu	متصل
Continu mathématique	متصل رياضي
Continu physique	متصل فيزيائي
Contraction	تقلص
Convention	اصطلاح
Couple	مزدوج
Coupure	مقتطع
Courant continu	تيار متواصل، مستمر
Courant de convection	تيار حمل
Courant électrolytique	تيار الكترولي
Courant fermé	تيار مغلق
Courant induit	تيار حثي
Courant ouvert	تيار مفتوح
Courbe	منحن
Courbure constante	انحناء ثابت
Courbure de surface	انحناء سطح
Courbure négative	انحناء سالب
Courbure positive	انحناء موجب
Croyance	معتقد، اعتقاد
Curviligne	منحنٍ
Cylindre	أسطوانة
Décharge par étincelle	تفريغ بواسطة الشرارة

Déductif	استنباطي
Définition	تعريف
Démonstration	برهان، برهنة
Dérivée	مشتقة
Dérivée première	مشتقة أولى
Dérivée seconde	مشتقة ثانية
Dérivée supérieure	مشتقة عليا
Déviation	انحراف
Dimension	بعد
Discret	منفصل
Dispersion	تشتت
Distributivité	توزيعية
Dynamique	ديناميكي، ديناميكا
Dynamomètre	مقياس القوة
Dynamométrie	مقياس القوة
Electricité négative	كهرباء سالبة
Electricité positive	كهرباء موجبة
Electrode	الكترود
Elément	عنصر
Elémentaire	أولي
Ellipsoïde	مجسم اهليليجي
Enchaînement	تسلسل
Energie cinétique	طاقة حركية
Energie potentielle	طاقة كمون، طاقة كامنة
Equidistant	متساوي المسافة
Erreur constante	خطأ ثابت

Erreur contingente	خطأ عرضي
Erreur systématique	خطأ نظامي
Espace	مكان
Espace géométrique	مكان هندسي
Espace tactile	مكان لمسي
Espace visuel	مكان بصري
Essentiel	جوهري، أساسي
Etendue	امتداد
Ether	أثير
Exposant	اس
Extensible	متمدد
Extrapolation	تعديل خارجي
Fini	متناهٍ
Flexible	مرن
Fluorescence	تفلور
Fluorescent	متفلور
Fonction	دالة
Force	قوة
Force centrale	قوة مركزية
Force magnétique	قوة مغناطيسية
Galvanomètre	غالفانومتر
Général	عام
Généralisation	تعميم
Généralité	عموم
Géométrie euclidienne	هندسة إقليدية
Géométrie non euclidienne	هندسة لاإقليدية
Grandeur	مقدار، عظم

Gravité	جاذبية
Groupe	زمرة
Hasard	صدفة
Hexagone	سداسي
Homogène	متجانس
Hysterisis	هسترة
Impression	انطباع
Incommensurable	لامتقايس
Indéfini	لامتحدد
Indice	مؤشر
Inductif	استقرائي
Induction	حث
Induction unipolaire	حث أحادي القطب
Inégalité	متباينة
Inéquations	متراجحة
Inertie	عطالة
Inertie électromagnétique	عطالة كهرومغناطيسية
Inextensible	غير متمدد، لامتمدد
Infini	لامتناهٍ
Inflexion	انعطاف
Intensité du courant	شدة التيار
Interférence	تداخل
Interpolation	استكمال
Intersection	تقاطع
Intervalle	فترة، مجال، فسحة
Ions	أيونات
Irréversibilité	لااعتكاسية

Isolant	عازل
Isotrope	متماثل الأنحاء
Jugement	حكم
Jugement analytique à priori	حكم تحليلي قبلي
Jugement synthétique à priori	حكم تأليفي قبلي
Limite	حد
Loi des aires	قانون المساحات
Lumière polarisée	ضوء مستقطب
Luminosité	لمعان
Masse	كتلة
Masse nulle	كتلة صفر
Mesurable	قابل للقيس
Monochromatique	أحادي اللون
Mouvement absolu	حركة مطلقة
Mouvement relatif	حركة نسبية
Multiplication	ضرب
Nombre irrationnel	عدد أصم
Nominalisme	اسمانية
Optique	بصري، بصريات
Oscillation	ذبذبة
Osmose	تنافذ
Osmotique	تنافذي
Paramètre	وسيط
Perspective	منظور
Phénomène élémentaire	ظاهرة أولية
Pile	عمود
Plan	مستو

Polyèdre	متعدد السطوح
Polygone	مضلع
Polynôme	متعدد الحدود، حدودية
Postulat	مصادرة
Prémisses	مقدمات
Prévision	توقع
Principe d'inertie	مبدأ العطالة
Principe de la conservation de l'énergie	مبدأ بقاء الطاقة
Probabilité d'erreur	احتمال الخطأ
Probabilité d'un événement	احتمال حدث
Probabilité objective	احتمال موضوعي
Probabilité subjective	احتمال ذاتي
Produit	حاصل ضرب
Produit scalaire	حاصل ضرب عددي، سلمي
Pyramide	هرم
Quadrilatère	رباعي الأضلاع
Radioactivité	نشاط اشعاعي
Raie	حز
Raisonnement	استدلال
Rayons cathodiques	أشعة كاتودية
Rayons gamma	أشعة غاما
Récurrence (raisonnement par...)	استدلال بالتراجع
Répétition	معاودة، تكرار
Représentatif	ممثل
Résistance Ohmique	مقاومة أومية
Rétine	شبكية

Réversibilité	اعتكاسية
Rigide	جاسىء
Scepticisme	ريبية
Série	متسلسلة
Simplicité	بساطة
Solénoïde	ملف لولبي
Solide	صلب
Sous-groupe	زمرة جزئية
Spectre	طيف
Sphère	كرة
Sphérique	كروي
Suite	متتالية
Symbole	رمز
Tangente	مماس
Théorème	مبرهنة
Ultrasonique	فوق سمعي
Uniforme	متشاكل
Variable	متغيرة
Vitesse	سرعة
Zéro absolu	الصفر المطلق
Zodiaque	منطقة البروج

الفهرس

ـ أ ـ

أبراهام: ١٥، ٢٠، ٣١٧

ابن خلدون، أبو زيد عبد الرحمن بن محمد: ٣٧، ٣٨

ابن رشد، أبو الوليد محمد بن أحمد: ٥٥، ٥٩، ٦٠، ٦٢، ٦٤ ـ ٦٩

ابن سينا، أبو علي الحسين بن عبد الله: ٥٢

ابن الهيثم، أبو علي محمد بن الحسن: ٦٠، ٦١، ٦٧

الاحتمال البعدي: ٢٧٤

الاحتمال الذاتي: ٢٥٩، ٢٦٣، ٢٦٥

احتمال العلل: ٢٦٢، ٢٧٣، ٢٧٥، ٢٧٦

الاحتمال القبلي: ٢٧٤

الاحتمال الموضوعي: ٢٦٠، ٢٦٣، ٢٦٥، ٢٦٩

الإحداثيات الديكارتية: ١٣٠

الأداتية: ٢٩

أرخميدس: ١٢٧

أرسطو: ٢٦، ٥٢

الاستدلال الاستقرائي: ٧٣، ٩٢

الاستدلال بالتراجع: ١٧، ٢٧، ٨٧ ـ ٩٢

الاستدلال الحسابي: ١٢

الاستدلال الرياضي: ٧٣، ٧٩، ٨٠، ٨٧، ٩٣، ١٤٣، ١٦٩، ٢٣٣

الاستدلال القياسي: ٨٠

الاستقراء: ٢٦، ٢٧، ٧٥، ٩١، ٩٥

الاسمانية: ٢٨، ٣١، ٣٥، ٣٨، ٤٣، ٤٩، ٦٤، ٦٨، ٦٩، ٧٣، ٧٤
الأعداد الكسرية: ٩٩، ١٠١
الأعداد اللامتقايسة: ٩٩ - ١٠١، ١٠٤، ١٠٥
الأعداد المتقايسة: ١٠٠، ١٠٤
الأعداد النسبية: ٩٩
أفلاطون: ٥٢
إقليدس: ٢١، ٣٠، ١١٧ - ١١٩، ١٢١، ١٢٣، ١٢٥، ١٢٧ - ١٢٩، ١٣١، ١٥١، ١٥٣، ١٥٤، ١٥٧، ١٦٠، ١٦٢، ١٦٥
أمبير، أندريه - ماري: ٧٥، ٢٩٥ - ٢٩٧، ٢٩٩ - ٣٠٨، ٣١٣
أمبيريقوس، سكتوس: ٥٨
الأمبيريقية الهندسية: ١٥٨
أندراد: ١٧٠، ١٨٥، ١٨٧
أندروس: ٢٥٣
أنشتاين، ألبرت: ١١، ١٩، ٢٠، ٢٤، ٢٥، ٤٩ - ٥١، ٦٨
أوزياندر: ٣٦، ٦٦
أوستفالد، و.: ٤٦

- ب -

بارنولي، ج.: ١٧
باستور، لويس: ٢١٨
بايكون: ٢١٨
البراغماتية: ٢٩
برتراند، جوزيف: ١٧، ٢٥٧، ٣٠٤، ٣٠٦
برغسون، هنري: ٢٨، ٥٢، ٦٩
برنار، كلود: ٥٣
بروتاغوراس: ٤٨
بروغلي، لوي دي: ٢١
برونو: ٦٩
البطروجي، أبو اسحق: ٦٠
بطليموس: ٢٩، ٣٩، ٤٠، ٦١، ٦٧، ١٩٣
بلانك، ماكس: ٢٥
بلترامي: ١٣، ١١٦، ١٢٠، ١٢١
بلزاك، أونوريه دي: ٤٠
بولتزمان، لودفيغ: ٤٦، ٤٨
بولييه: ١١٦
بيران: ٣١٢

بيرتولو، رينيه: ٣١
البيروني، أبو الريحان محمد بن أحمد: ٦٧
بيكار، إ.: ٤٤

- ت -

تامبي: ٦٩
تان: ٤٠
تانيري، جول: ٩٧
تايت، بيتر غوتري: ٢٢، ١٧٦
التجربة: ١٥١، ١٥٤ ـ ١٥٩، ١٦١، ١٦٩، ٢٥٥
التسارع: ١٧٦، ١٧٧، ١٧٩، ١٨٠
توكفيل، ألكسيس دو: ٤٠
تيكو: ٢٢٥، ٢٥٣

- ج -

الجبر: ٢٥٧

- ح -

الحركة الارتباطية: ١٤١، ١٤٢، ١٤٦
حساب الاحتمالات: ٢٥٥ ـ ٢٦٠، ٢٦٢، ٢٦٧، ٢٧٤، ٢٧٩
الحساب الجبري: ٨٧

- خ -

خواص الجمع: ٨٤
خواص الضرب: ٨٦

- د -

الدالاّت الفوخسية: ١٦
الدالّة الموجبة: ١٧
دالمبار، جان بابتيست: ٣٩
دوهام، بيار موريس ماري: ٢٥، ٢٨، ٣٨، ٤١ ـ ٤٤، ٥٨، ٦٢، ٦٨، ٦٩
ديديكند، يوليوس ويلهلم ريتشارد: ١٠٠، ١٠١
ديكارت، رينيه: ١٢، ١٦، ٢٨، ٣٢، ٤٤، ٤٥، ٥٣، ٦٠، ٦٨
الديناميكا: ١٨٢، ١٨٣، ٢٤١، ٢٨٤، ٢٨٧
الديناميكا الحرارية: ١٩٩، ٢٠٤، ٢٠٥، ٢١٧، ٢٣٩، ٢٥٠

- ذ -

الذرية: ٤٥، ٥٠

- ر -

الرازي، فخر الدين محمد بن عمر: ٥٢

راسل، برتراند: ١٢
راولاند: ٣١٠ ـ ٣١٢
روبرفال: ٥٨
الريبية: ٢٨، ٣١، ٣٣، ٤٣، ٧٢
ريتيكوس، جورج جواشيم: ٦٧
ريمان: ١٣، ٢١، ٢٢، ١١٦ ـ ١٢١، ١٢٣، ١٢٥ ـ ١٢٧، ١٥٢، ٢٤٢
رينان، إرنست: ٤٠
رينو: ٢٧٦

ـ ز ـ

زارميلو: ١٢
زولا، إميل: ٤٠
زيمن: ٢٤٨، ٢٥١، ٣١٣

ـ س ـ

ستالو، ج. ب.: ٤٢
السينيماتيكا: ٢٤١
السينيماتيكا النسبية: ٢٤

ـ ش ـ

شاتوبريان، فرانسوا ـ رينيه دي: ٣٩

ـ ط ـ

الطاقة الحركية: ١٩٩، ٢٠١، ٢٨٧، ٢٨٨
الطاقة الكامنة: ١٩٩، ٢٠١، ٢٨٧، ٢٨٨
الطاقة الكهربائية: ٢٠٢
الطاقة الكيميائية: ٢٠٢
الطاقة الميكانيكية: ٢٠٢
الطبيعة: ٢١٥، ٢٢٢
الطوبولوجيا: ١٧، ١١١
طومسون: ١٧٦

ـ ع ـ

العطالة الكهرومغناطيسية: ٣١٧
العطالة الميكانيكية: ٣١٧
العظم الرياضي: ٧٧، ٩٧، ١٠٦، ١١١، ١٥٣، ١٥٤، ١٧٦، ١٧٩، ٢٩٨
العقلانية: ٣١، ٣٥، ٤٠، ٤٥، ٤٦، ٦٨، ٦٩
علم الحساب: ١٢، ٢٧، ٨٣، ٩٠، ١٠٦، ٢٥٧
علم الطاقة: ١٩٩
علم العدد: ٨٠
علم الفلك: ٢١، ١٥١،

١٥٢، ١٧٤، ١٧٥، ١٩٣،
١٩٤، ٢٢٤، ٢٥٣
العلم الفيزيائي: ٢٧
العلم الميكانيكي: ٢٧
علم الهيئة: ٥٨، ٦٧

- غ -

غاليلي: ١٢، ٣٥، ٣٦، ٣٩،
٤٠، ٤٥، ٦٠، ٦٢، ٦٨،
٦٩، ١٧٤
الغزالي، أبو حامد محمد بن
محمد: ٣٨، ٦٢، ٦٨
غولدشتاين: ١٥، ٣١٨
غوي: ٢٥١
غي ـ لوساك: ٢٥٩

- ف -

فارادای: ٢٤٨، ٣٠٠، ٣٠١،
٣٠٧، ٣١٦
فالس، فان ديل: ٢٥٣
فرزنيل: ٧٥، ٢٢٢، ٢٢٣،
٢٣٥، ٢٣٦، ٢٥٣، ٢٨١،
٢٨٢، ٢٨٤، ٢٩١
فوريي: ٢٧، ٤٦
فوكو، ميشيل: ٣٠، ٤١،
١٥٧، ١٩١
فولتير، فرانسوا: ٣٩
فويي، ألفرد: ٣٨
فيبر: ٢٠١
فيتزجيرالد: ٢٠، ٣١٩، ٣٢٠
فيرما: ١٧
فيرن، جول: ١٩٤
فيروناز: ١٢٧
فيزو: ٢٤٣، ٢٤٨
الفيزياء التجريبية: ٢٦، ٧٣
الفيزياء الرياضية: ٢٦، ٢٢١،
٢٢٧ ـ ٢٣٠، ٢٣٣، ٢٨٣
الفيزياء الكيميائية: ٢٥٣، ٢٥٤
الفيزياء النظرية: ٢٦
فيشارت: ٢٤٢
فيشنر: ١٠٩

- ق -

قانون التجانس: ١٤٢، ١٤٣
قانون التسارع: ١٧٦، ١٨٥ ـ
١٨٧، ١٨٩
قانون تساوي الفعل ورد الفعل:
١٧٩
قانون الطبيعة: ١٧٢
قانون العطالة: ١٧٣، ١٧٤
قانون غوس: ٢٧٦ ـ ٢٧٨
قانون فيشنر: ١٠١

قانون النسبية: ١٥٥ ـ ١٥٧
القوة: ١٦٧، ١٧٦، ١٧٧، ١٧٩، ١٨٠، ١٨٣، ١٨٤، ١٩٠

ـ ك ـ

كارليل: ٢١٨
كارنو، سادي: ٤٥، ٢٣٩، ٢٥٠، ٢٥١
كالفان: ٢٤٢
كانط، إيمانويل: ٢٨، ٣٢، ٣٣، ٥٣، ٦٦، ١٢٨
كانطور: ١٢
كبلر، يوهان: ٦٨، ١٧٤، ٢٢٥، ٢٢٦، ٢٢٩، ٢٥٣، ٢٦١، ٢٦٧
الكتلة: ١٥، ١٧٦، ١٧٧، ١٧٩ ـ ١٨١، ٣١٥، ٣١٧، ٣٢٠
كروزيوس، كريستيان أوغوست: ٣٢
كروكس: ٣١١
كرونيكر: ٩٩، ١٠٥
كلاين: ١٢٢
كلوزيوس: ٢٠٥، ٢١٠، ٢٣٩
الكندي، أبو يوسف يعقوب: ٥٥، ٥٩
الكهروديناميكا: ٢٩٥، ٣١٣
كوبرنيك، نيكولا: ١٢، ٢٢، ٢٩، ٣٦، ٣٩ ـ ٤١، ٥٥، ٦١، ٦٢، ٦٥ ـ ٦٨، ١٩٢، ١٩٣
كوشي: ١٧، ٢٨٣
كوفمان: ١٥، ٢٠، ٣١٧، ٣٢٠
كولومب: ٢٣٩
كونت، أوغست: ٣٧، ٤٢، ٦٨
كوندورسي: ١٨
كونيغس: ٢٤١
كيرشوف، غوستاف روبير: ١٧٧، ١٧٩، ١٨٣، ١٨٥، ١٨٦

ـ ل ـ

لابلاس، بيار سيمون ماركيز: ١٢ ـ ١٤، ١٦ ـ ١٨، ٤٤، ٢٢٢، ٢٨٣
لارمور: ٢٤٢، ٢٤٨، ٢٤٩
اللاعقلانية: ٥٩
لاغرانج: ١٢، ١٤، ١٦، ٤٤، ١٧٧، ٢٥٠، ٢٨٨، ٢٨٩، ٢٩٢

لامني، فيليسيت روبير دي: ٣٩
لانجفان، بول: ٣٢٠
لايبنتز، غوتفريد: ١٨، ٥٣، ٨١
لبيب، الطاهر: ٨
لو روا، ادوار لويس: ٢٨، ٣٨، ٤١، ٤٣، ٤٤، ٥٨، ٦٢
لوباتشفسكي، نيقولاي: ١٣، ٢١، ٧٤، ١١٦، ١١٧، ١١٩ ـ ١٢٣، ١٢٥، ١٢٧، ١٥٢ ـ ١٥٤، ١٥٧، ١٦٠
لورانتس: ٢٠، ٢٤، ٤٦، ٢٤٤، ٢٤٥، ٢٤٧ ـ ٢٤٩، ٣١٢، ٣١٣، ٣١٩
لوك، جون: ٥٣
لي، سوفوس: ١٢٦، ١٦٥
ليمان: ٣١٣

- م -

ماتر، جوزيف دي: ٣٩، ٤٠
ماخ، إرنست: ٢٥، ٢٨، ٢٩، ٤٢، ٤٩ ـ ٥١، ٦٢، ٦٨، ٦٩
ماريوت: ٢٠٧، ٢٢٢، ٢٢٣، ٢٥٩، ٢٧٦
ماكسويل: ٢٤، ٤٦، ٤٧، ٧٥، ٢٣٥ ـ ٢٣٧، ٢٤١، ٢٤٨، ٢٥١، ٢٨٢ ـ ٢٨٦، ٢٩١، ٢٩٢، ٣٠٩، ٣١٠، ٣١٣
ماك ـ كولاغ: ٢٤٨
مبدأ بقاء الطاقة: ٣٤، ٣٥، ٢٨٧، ٢٨٩
مبدأ التسارع: ٣٤
مبدأ تساوي الفعل ورد الفعل: ٢٤٨، ٣١٢
مبدأ الحركة النسبية: ١٩، ١٨٩ـ ١٩٢، ١٩٤
مبدأ السببية: ٥٨
مبدأ عدم التناقض: ٧٩، ٩٠، ١٠٢
مبدأ العطالة: ٣٤، ٣٥، ١٧١، ١٧٢، ١٧٦، ١٨٢، ١٩٠، ١٩٢، ١٩٤، ١٩٧، ١٩٨
مبدأ العلة الكافية: ٣٥، ١٥٤، ٢٦٦، ٢٧١، ٢٧٩
مبدأ الفعل الأدنى: ٢٨٧، ٢٨٩ـ ٢٩١
مبدأ النسبية: ١٩، ٢٠، ٢٤، ٢٥، ٤٧، ٤٩ ـ ٥١، ٦٠، ٦٩، ١٥٤، ٣١٣
مبدأ الهوية: ٧٩

مبرهنة لي: ١٢٦، ١٢٧
مدرسة برلين: ٩٩
مدرسة الخيط: ١٨٥
المذهب الميكانيكي: ٤٥
مصادرة إقليدس: ١١٦، ١٢٤، ١٥٤
معضلة الأجسام الثلاثة: ١٨
مفهوم اللامتناهي: ١٢
المكان: ١١٣، ١٣١، ١٣٢، ١٣٥، ١٤٠، ١٦٢، ١٦٩، ١٧٠، ١٩٢، ١٩٣
المكان الاقليدي: ١٥٢، ١٥٣، ١٦١
المكان البصري: ١٣٢ ـ ١٣٤
المكان التصوري: ١٣٢، ١٣٦، ١٣٧
المكان الحركي: ١٣٥
المكان اللاإقليدي: ١٣١، ١٥٢، ١٥٣، ١٦١، ١٧٠
المكان اللمسي: ١٣٥
المكان الهندسي: ١٣٢، ١٣٣، ١٣٥ ـ ١٣٨، ١٤٤، ١٤٨
المنطق: ١٢
المنهج التجريبي: ٢٦٢
الميكانيكا: ٧٣، ٧٤، ١٦٩، ١٧٠، ١٧٢، ١٨٢ ـ ١٨٤، ١٨٧، ١٩٢، ١٩٤، ١٩٧، ١٩٩، ٢١١ ـ ٢١٣، ٢٤١، ٢٤٣، ٢٤٤، ٢٥٠
الميكانيكا الأرضية: ٦٢
الميكانيكا الانتروبومورفية: ١٨٣، ١٨٥
الميكانيكا السماوية: ٦٢، ٢٨٣
الميكانيكا الكوانطية: ٤٦
ميكلسون: ٢٠، ٤٩
ميل، جون ستيوارت: ١٢٣
مير: ٢٠٥ ـ ٢١٠

ـ ن ـ

نظرية الأخطاء: ٢٧٦
نظرية الأعداد: ٨٣
نظرية الضوء: ٢٨١
نظرية الكوانطا: ٢٥
النفعية: ٢٩
النقطة المكانية: ١٦٣ ـ ١٦٥
نيتشه، فريدريك: ٢٨
نيوتن، اسحق: ١٢، ١٨، ٢٧، ٤٤، ٤٧، ٥٠، ٥٣، ١٥٧، ١٧٤، ١٧٦، ١٧٩، ١٨١، ١٨٣، ١٩١، ١٩٢،

١٩٥، ١٩٦، ٢٠٤، ٢٠٦، ٢٢٣، ٢٢٤، ٢٢٩، ٢٤٣، ٢٤٤، ٢٥٣، ٢٥٨
نيومان: ٢٩١

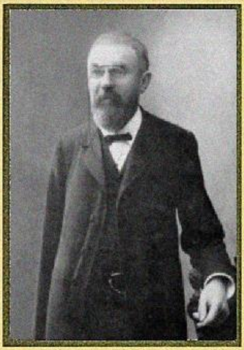
ـ هـ ـ

هاملتون: ٢٠٠
هايغنس: ٤٥
هلمهولتز، هيرمان فون: ٢٢، ١١٦، ١٩٩، ٢٠٤، ٢٣٧، ٢٩٩، ٣٠١، ٣٠٤ ـ ٣٠٨، ٣١٣
الهندسة الإسقاطية: ١٢٩
الهندسة الإقليدية: ١٣، ٢١، ٢٢، ١٢٨، ١٣٠، ١٥٢، ١٥٤، ١٧٠، ١٧١
الهندسة القيسية: ١٥٩
الهندسة الكروية: ١٢٠، ١٢١
الهندسة اللاأرخميدية: ١٢٧
الهندسة اللاإقليدية: ١١٥، ١٢١، ١٢٨، ١٤٧، ١٥٤، ١٥٥
الهندسة المترية: ١٢٩
هوسرل، إدموند: ٥٣
هيرتز: ١٨٢، ٢٤١، ٣٠٩، ٣١٠، ٣١٢
هيلبرت، داڤيد: ١٣، ١٢٦، ١٢٧، ١٤٩
هيمشتد: ٣١١
هيوم، ديفيد: ٣١، ٥٨

ـ و ـ

وحدة الطبيعة: ٢٢١، ٢٢٣
الوضعية: ٤٢، ٤٣، ٦٨

العلم والفرضية



- أصول المعرفة العلمية
- ثقافة علمية معاصرة
- فلسفة
- علوم إنسانية واجتماعية
- تقنيات وعلوم تطبيقية
- آداب وفنون
- لسانيات ومعاجم

يذهب الملاحظ المتسرّع إلى أن الحقيقة العلمية حقيقة لا يأتيها الشكّ وإلى أن منطق العلم معصوم عن الخطأ، ولئن أخطأ العلماء أحياناً فلغفلتهم – في تقديره – عن قواعد ذلك المنطق..ذلك هو أصل اليقين العلمي عند عامة الناس ... إن الشك في كل شيء والتصديق بكل شيء، حلان مريحان، بالتساوي، يعفينا كل واحد منهما من التفكير. لذلك كان لزاماً علينا – بدل الوقوف عند الإدانة الفجة – أن ننظر بعناية في دور الفرضية، لن نتعرف فحسب على أنه دور ضروري، بل كذلك على أنه، أغلب الأحيان، مشروع... ما يمكن بلوغه من العلم ليست الأشياء في ذاتها، كما يذهب إلى ذلك الوثوقيون السذج، بل العلاقات الرابطة بين الأشياء دون سواها، وليس ثمة خارج تلك العلاقات واقع تمكن معرفته. تلك هي النتيجة التي نصل إلها. بوانكري (1854-1912): عالم في الرياضيات والفيزياء وفيلسوف كان، ولا يزال، لمساهماته التي دشّن بها القرن العشرين، كما قيل عنه، أثرٌ واسع، باعتباره واحداً من أهم علماء العالم

حمادي بن جاء بالله: أستاذ فلسفة العلوم بالجامعة التونسية. من مؤلفاته: "تكوّن مفهوم القوة في الفيزياء الحديثة" (بالفرنسية) و"تحولات العلم الفيزيائي ومولد العصر الحديث" و"مساءلة الزمن المطلق

المنظمة العربية للترجمة

الثمن: دولاراً
أو ما يعادلها

ISBN 978-9953-0-1435-7